



TITLE:

嗅感覚特性に基づく悪臭の評価と
規制に関する基礎的研究(
Dissertation_全文)

AUTHOR(S):

樋口, 隆哉

CITATION:

樋口, 隆哉. 嗅感覚特性に基づく悪臭の評価と規制に関する基礎的研究.
京都大学, 1996, 博士(工学)

ISSUE DATE:

1996-03-23

URL:

<https://doi.org/10.11501/3110552>

RIGHT:

②
嗅感覚特性に基づく

悪臭の評価と規制に関する基礎的研究

1 9 9 6 年

樋口隆哉

第1章 序論	1
第1節 はじめに	1
第2節 本研究の目的	2
第3節 本論文の構成	3
参考文献	3
第2章 悪臭事象の特徴とその評価	5
第1節 嗅覚の特性	5
第2節 悪臭事象の現状と特徴	6
第3節 悪臭の評価	8
参考文献	11
第3章 嗅覚官能試験法およびその悪臭規制への導入	15
第1節 嗅覚官能試験法	15
第2節 官能試験法の悪臭規制への導入	20
参考文献	23
第4章 従来の悪臭評価・規制方法の問題点およびその改善に関する検討	29
第1節 概説	29
第2節 悪臭現場における三点比較式臭袋法測定データの解析	31
4-2-1 本解析の概要	31
4-2-2 データの収集と整理	32
4-2-3 基本集計	32
4-2-3-1 解析内容および解析方法	32
4-2-3-2 解析結果および考察	32
4-2-4 機器による物質濃度測定	48
4-2-4-1 解析内容および解析方法	48
4-2-4-2 解析結果および考察	48
4-2-5 物質濃度と臭気強度の関係	53
4-2-5-1 解析内容および解析方法	53
4-2-5-2 解析結果および考察	53

4-2-6 物質濃度と臭気指数の関係	58
4-2-6-1 解析内容および解析方法	58
4-2-6-2 解析結果および考察	58
4-2-7 臭気指数と臭気強度の関係	62
4-2-7-1 解析内容および解析方法	62
4-2-7-2 解析結果および考察	62
4-2-8 苦情の発生と臭気強度および臭気指数の関係	68
4-2-8-1 解析内容および解析方法	68
4-2-8-2 解析結果および考察	69
4-2-9 まとめ	72
第3節 アンケート調査に基づく臭気の認容性に対する影響因子の把握	73
4-3-1 本解析の概要	73
4-3-2 環境モニター・アンケート調査について	73
4-3-3 解析内容および解析方法	74
4-3-4 数量化II類について	74
4-3-5 解析結果および考察	77
4-3-6 まとめ	80
第4節 三点比較式臭袋法の問題点とその改善に関する考察	80
第5節 結語	83
参考文献	86
付録 環境モニター・アンケート調査の数量化II類による解析結果	88
資料 臭気指数の算定の方法(平成7年9月13日環境庁告示第63号)	97
第5章 悪臭の感覚的評価・規制のための嗅感覚の時間特性に関する検討	103
第1節 概説	103
第2節 嗅感覚における三叉神経性刺激	105
5-2-1 嗅覚性刺激と非嗅覚性刺激(三叉神経性刺激)	105
5-2-2 三叉神経とは	106
5-2-3 三叉神経のにおい物質に対する応答	107
5-2-4 嗅神経系と三叉神経の相互作用	109
5-2-5 三叉神経における受容機構	111
5-2-6 まとめ	113
第3節 嗅感覚における順応現象	114
5-3-1 順応とは	114
5-3-2 順応と慣れ	115
5-3-3 自己順応と相互順応	115
5-3-4 順応の発現機構	119

5-3-5 まとめ	120
第4節 臭気の吸入時間と知覚強度の関係	121
5-4-1 本実験の概要	121
5-4-2 実験方法	122
5-4-3 実験結果および考察	124
5-4-4 まとめ	128
第5節 臭気の曝露初期(30秒間)における知覚強度の変化	130
5-5-1 本実験の概要	130
5-5-2 実験方法	130
5-5-3 データの平均化	133
5-5-4 実験結果および考察	134
5-5-5 まとめ	136
第6節 臭気の連続的曝露に対する知覚強度の変化	137
5-6-1 本実験の概要	137
5-6-2 実験方法	137
5-6-3 データの平均化	138
5-6-4 実験結果および考察	139
5-6-5 まとめ	144
第7節 におい質と順応特性の関連性	144
5-7-1 本実験の概要	144
5-7-2 実験方法	144
5-7-3 実験結果および考察	145
5-7-4 まとめ	148
第8節 順応現象のモデル化に関する検討	149
5-8-1 従来の順応モデル式	149
5-8-2 嗅覚機構に基づく順応モデル式の簡略化	150
5-8-3 まとめ	152
第9節 臭気の連続的曝露に対する快・不快度の変化	152
5-9-1 本実験の概要	152
5-9-2 実験方法	153
5-9-3 実験結果および考察	153
5-9-4 まとめ	158
第10節 結語	158
参考文献	161
付録-1 大迫による順応モデルの誘導	171
付録-2 大迫のモデル式の簡略形の誘導	174
付録-3 パラメータの増減による知覚強度の変化の傾向	180

第6章 嗅感覚特性を考慮した悪臭の評価・規制方法の提案	183
第1節 概説	183
第2節 嗅感覚特性に基づく三点比較式臭袋法の改善	183
第3節 悪臭の官能規制に対する基本的考え方	186
第4節 結語	189
参考文献	190
第7章 結論	191
謝辞	199

第 1 章 序 論

第 1 節 はじめに

においという奇妙な感覚は、心情と思考を分け隔てているベールを取り払い、過去と現在との距離をなくして、自我の統一を意識にもたらす。Maine de Biranは、次のように語っている¹⁾。

「思い出というものは、においを嗅ぐという感覚と結びついており、その感覚そのものと同じ性質を備えているはずだ。つまり、純粹に感情的なものなのである。自我と世界が共存するという感情は、様々な内的印象から成り立っているが、そうした内的印象とにおいとの間には密接な関連があり、嗅覚だけに固有の特徴を備えている。様々なにおいは、それぞれに青春時代に味わうような、胸にこみあげる何ともいえぬ感情と結びついていて、多少の差はあれ必ず同じ感情を呼び起こすのだ。芳しい樹木の中にいると、未だに若やいで、恋をしそうな自分が甦るではないか。そこにこそ思考とは独立した心情の働きがある。だからこそ、この心情の働きがくっきりと浮かび上がるとき、我々は失ったものを一つ残らずしみじみと痛感し、魂はメランコリーに浸るのだ。……」

においの感覚は、他の感覚と比べると比較的少ない段階を経て脳に達し、生物発生的にみても脳に近接したものであるといわれているが、まさににおいと感情とは不可分のものであり、人間の本質の一構成要素としてにおいが存在するといっても過言ではない。

現代の人間が得る情報は、全体の90%が視覚からによるものといわれ、嗅覚の存在は忘れられがちである。嗅覚の神経系は、脊椎動物では下等なものからサル、ヒトに至るまで本質的にほとんど発達が見られないが、動物にとって嗅覚は、①食べ物を手に入れる、②危険を感知する、③仲間とのコミュニケーションを図る、④交尾期には異性を引きつける、といった重要な役割を担っている^{2) 3)}。

原始人類の誕生以来、嗅覚は生命維持のために不可欠な要素として役立ってきたが、生命と自然への感謝は、やがて神の存在と崇敬の概念を生み、様々な宗教ならびに宗教儀式へと発展した。においを香りとして美的にとらえ、文明の発達を促したのも、宗教とのつながりがそもそものきっかけであった⁴⁾。香料を用いるようになったのは、パミール高原に分布していた遊牧民が起源であるといわれ、次いでインドに入り、それが中国とエジプトに分かれ、ギリシア・ローマ時代へと伝わっていった⁵⁾。「Perfume (芳香)」という言葉が、ラテン語の「*Per Fumum* (through smoke)」から発している⁶⁾ことからわかるように、香りは最初、主に薫香として用いられた⁷⁾。日本でも香料は神事や仏事に薫香として用いられたが、やがて宮中から貴族そして民衆へと広まり、室町時代に入って一定作法に従って香を“聞く”

日本独自の香道が確立した⁹⁾。においを美的観点から芸術的にとらえた香料は、その後、近代に至り、有機化学や分析化学の発達によってますます裾野を広げてきたが、香料の効能を様々な疾病の改善に積極的に役立てていこうというアロマセラピー（芳香療法）の考え方も香料の活用の一側面として近年注目を浴びつつある⁹⁾。

“よい”あるいは“快い”においを求めて香料技術が発達したように、逆に“不快な”においに対して、それを巧みに操り、意識下に潜伏させてしまうために人々は長年知恵をしぼってきた。言いかえれば、古来、神へ捧げるいけにえとして使われた動物の屍臭に対して焚香が行われたように、“不快な”においの対策の一つとして“よい”においが積極的に活用され、そのことがまた香料技術の発達を促してきた。しかし、近代に入り、産業の発達と都市の膨張は、同時に個人レベルでの対処可能な限界を超えた環境汚染問題としての悪臭公害を併発した。そして、日本においても昭和40年代からの深刻な状況は、悪臭公害を社会的に認知させ、法的規制の施行をもたらしたのである¹⁰⁾。

第2節 本研究の目的

臭気を原因とする近隣妨害や紛争は古くから多発しており、昭和42年に制定された公害対策基本法（法律第132号）において、悪臭は典型7公害の一つとして規定された。しかし、当時は大気汚染、水質汚濁などによる深刻な被害を防止することに重点がおかれ、ただ人に不快感を与えるだけとしか認識されなかった悪臭公害は軽視された。また、公害問題の中でも悪臭は特殊な性格をもち、客観的な評価方法が確立していなかったなどの点から、昭和46年になってようやく悪臭防止法（法律第91号）が制定されるまで、地方自治体においても具体的規制を行っていたのは宮城県だけであった^{11) 12)}。

当時、悪臭防止法の制定にあたった厚生省は、最大の問題であった悪臭の測定方法について、人間の嗅覚を用いた官能試験法によらず機器分析法によることとした。しかし、人間の感覚としての不快性に基づく悪臭事象を機器分析のみでとらえようとするには限界があり、しばしば現場の被害状況との遊離が問題となってきたことから、官能試験法による悪臭評価方法の確立が緊急の課題となっていた。このような中で、環境庁は平成7年4月、悪臭防止法の改正に踏み切り、官能試験法の一つである三点比較式臭袋法による悪臭規制の導入を決定した¹³⁾が、依然として多くの問題点が存在しており、その解決が求められている。すなわち、今回の法律改正によって導入された官能試験法による規制基準の設定に際しての原則的な考え方は、従来の物質濃度規制に関するものと同様であり、苦情の発生状況を反映しているかどうかは疑わしく、また三点比較式臭袋法の測定方法自体も確立したものとはいえず、一層の改善が必要である。さらに、このような悪臭の評価・規制に関する

検討を行う際には、臭気のような特性と人間の感覚的応答との関係を把握することが不可欠であり、嗅覚に関する生理学的・精神物理学の特性と臭気物質の物理化学的特性との対応に基づいて嗅覚の組織学的解明を行い、そこに環境条件を考慮することによって、嗅覚特性に基づいた環境臭気の評価が可能となる。そこで本研究では、人間の嗅覚特性に基づいた悪臭評価・規制方法の確立のための基礎資料を得ることを目的として、従来の悪臭評価・規制方法の問題点の把握とその改善、悪臭の評価・規制を行う際の重要因子の一つである嗅覚の時間特性、および嗅覚特性を考慮した悪臭評価方法と悪臭規制に対する考え方に関する検討を行った。

第3節 本論文の構成

本論文の構成は、以下に示す通りである。まず第2章では、悪臭事象の特徴を整理するとともに、わが国の悪臭評価に対する取り組みについて概説した。第3章では、人間の嗅覚を用いた種々の官能試験法について説明するとともに、その悪臭規制への導入状況についてまとめた。第4章では、従来の悪臭評価・規制方法の問題点を把握し、その改善について検討するために、過去10年間にわたる悪臭現場での三点比較式臭袋法による測定データの解析を行い、臭気指数、臭気強度、機器測定による物質濃度および悪臭苦情の有無の相互の関係について考察した。また、環境モニター・アンケートによる住民意識調査データを用いて、臭気の認容性に対する影響因子の把握のための解析を行った。さらに、三点比較式臭袋法の測定方法に関して、問題点の抽出とその改善に関する検討を行った。第5章では、第4章の結果を受けて、悪臭の感覚的評価・規制を行う際の重要因子の一つである嗅覚の時間特性に関する検討を行った。すなわち、臭気の吸入時間と知覚強度の関係について考察するとともに、嗅覚の順応現象に関する種々の実験的検討を行い、そのモデル化を試みた。また、臭気の連続的曝露に対する快・不快度の変化および影響因子に関する検討も行った。第6章では、第4章と第5章の知見をもとに、嗅覚特性に基づいた悪臭評価のための三点比較式臭袋法の改善案を示すとともに、官能試験法による悪臭規制を行う際の基本的考え方の提案を行った。そして第7章では、本研究の全体をまとめて結論とした。

参考文献

- 1) Corbin, A. 著, 山田登世子, 鹿島茂訳: においの歴史, 271-286, 藤原書店, 東京 (1990)
- 2) 高木貞敬: 嗅覚の生理学, 藤巻正生, 服部達彦, 林和夫, 荒井綜一編集, 香料の事典, 10-18, 朝倉書店, 東京 (1980)

- 3) Laffort, P., 樋口隆哉, 西田耕之助訳: 様々な側面からみたにおい情報, 臭気の研究, 26, 190-199 (1995)
- 4) 奥田治著: 香料化学総覧〔I〕, 26-31, 廣川書店, 東京 (1972)
- 5) 岩崎光雄: 香粧品香料 概説, 藤巻正生, 服部達彦, 林和夫, 荒井綜一編集, 香料の事典, 45-54, 朝倉書店, 東京 (1980)
- 6) Billot, M. & Wells, F.V. (Eds.): Perfumery Technology, Art: Science: Industry, 1-4, Ellis Horwood Limited, England (1975)
- 7) 須賀恭一, 渡辺昭次著: 香料の化学, 1-6, 講談社, 東京 (1972)
- 8) 赤星亮一著: 香料の化学, 1-11, 大日本図書, 東京 (1983)
- 9) Tisserand, R. 著, 高山林太郎訳: アロマセラピー 〈芳香療法〉の理論と実際, フレグランスジャーナル社, 東京 (1985)
- 10) 西田耕之助: 消・脱臭技術の現況と将来, 西田耕之助監修, 消・脱臭技術の進歩と実務, 165-203, 総合技術センター, 東京 (1991)
- 11) 西田耕之助: 悪臭総論 (2), 月刊浄化槽, 138, 17-26 (1987)
- 12) 環境庁大気保全局特殊公害課監修, 悪臭法令研究会編著: ハンドブック悪臭防止法, 1-12, きょうせい, 東京 (1993)
- 13) 山本進一: 改正悪臭防止法について, 臭気の研究, 26, 226-228 (1995)

第2章 悪臭事象の特徴とその評価

第1節 嗅覚の特性¹⁾⁻⁵⁾

地球上のあらゆる生物は、自らの生存と種の繁栄のために外部環境の変化をすばやく察知し、可能な限りそれに順応し、あるいは危険な状況においてはそれを回避しようとする能力をもっている。このような外界の刺激に対する感知、判断および行動の一連の過程が感覚機能というべきものであり、この機能なくしては生命の存在はあり得ず、それはまた人類の進化が感覚機能に大きく依存してきた点からみても明らかである⁶⁾。外界からの刺激としては、光、音、熱、機械力、化学物質などがあり、それぞれ視覚、聴覚、温度感覚、痛覚、触覚、味覚、嗅覚などで感知される。これらの感覚のうち、味覚と嗅覚はともに化学物質を受容する感覚であり、化学感覚 (chemical senses) と総称されている⁷⁾。

嗅覚では、におい物質が鼻腔内嗅細胞に受容されることによってにおいの感覚が発現するが、人間では、強度、快・不快度、質の三要素が統合したものとして知覚される。高濃度では糞便臭をもつスカトールがごく低濃度では魅力的な香りを漂わせるように、濃度によってにおいの質が変化するが、これは他の感覚とは大きく異なる点であり、においの三要素が各々独立的なものではなく、相互に密接な関連性をもっていることを示している。また、においの感覚は、生理的・心理的・社会的条件や嗜好、経験によって左右され、主観的・感情的側面が強いが、通常健康状態である人、あるいは集団としての応答では、不快なにおいに対する判断には大差がないといわれている。

においは、におい物質がある濃度 (閾値) 以上空気中に存在するときに生じる感覚で、このようなにおい物質の数は数十万種類にも及ぶといわれている。しかし、その閾値の多くは ppm オーダー以下であり、ppb オーダーを下回るものも少なくない。したがって、ごく少数の例外を除き、ガスクロマトグラフなどの測定機器も人間の嗅覚にははるかに及ばない。また、嗅覚の感受性は、人種、性別、年齢、生理的および心理的条件などによって変動するが、環境中に存在する複合臭気については不快性の個人差は小さく、集団としての感受性の変動も小さい。

あるにおいを連続的に嗅いでいると、次第にそのにおいを感じにくくなるという順応現象も嗅覚の重要な特性の一つである。一定濃度の臭気に連続的に曝露された場合、数分程度で順応し、順応からの回復も同様の時間スケールで起こるといわれているが、嗅覚の順応で極めて特徴的な点は、あるにおいに対して順応した状態であっても、他のにおいに対しては感度を失わないという選択性があることで、この現象を利用してにおいを分類しようという試みもいくつかなされてきている。

環境中のにおいは、様々な物質が混合した複合臭気として存在するが、複合系の

におい応答は、その中に存在する各々のにおい物質の強度、快・不快度および質を総合した形で、それぞれ特有のにおいとして知覚される。したがって、各物質の濃度から複合臭の感覚（強度、快・不快度、質）を表すことはできない。また、強いにおいの添加によって弱いにおいが隠蔽されるマスキングや、におい物質がある割合で存在するとき、その複合臭が、より無臭に近い状態にまで弱められる中和・相殺の現象もみられるが、これらは種々の悪臭対策に活用されている^{8) 9)}。

第2節 悪臭事象の現状と特徴

悪臭公害は、地域住民からの苦情の申し出によって顕在化し、苦情を解決することが最終的な目的となる¹⁰⁾。悪臭に係る苦情件数は、典型7公害の中でも騒音とともに常に上位に位置しており、昭和47年度をピークに減少し、現在は横ばいないし微減の傾向を示している（図2-1）^{11) 13)}。しかし、悪臭防止法が施行されてから20年以上を経て、悪臭問題は以前とは異なる様相を帯びてきた。すなわち、都市人口の増加に伴って住宅地が都市郊外へと広がり、悪臭発生事業場と住宅の近接化が進行し、被害がより一層身近なものになってきた。さらに、身体健康のみならず生活環境の快適さに対する人々の要求が高まり、苦情対象業種の拡大化・多様化の様相がみられ、畜産農業や各種製造工場に係る苦情割合が減少傾向にあるのに対して、浄化槽やビルビット、飲食店からの調理臭などのように都市生活・民生型といわれる発生源からの苦情が多くなってきた（図2-2）^{10) 13) 15)}。最近、環境庁においても、都市域の日常生活から発生する悪臭、および苦情として顕在化しな

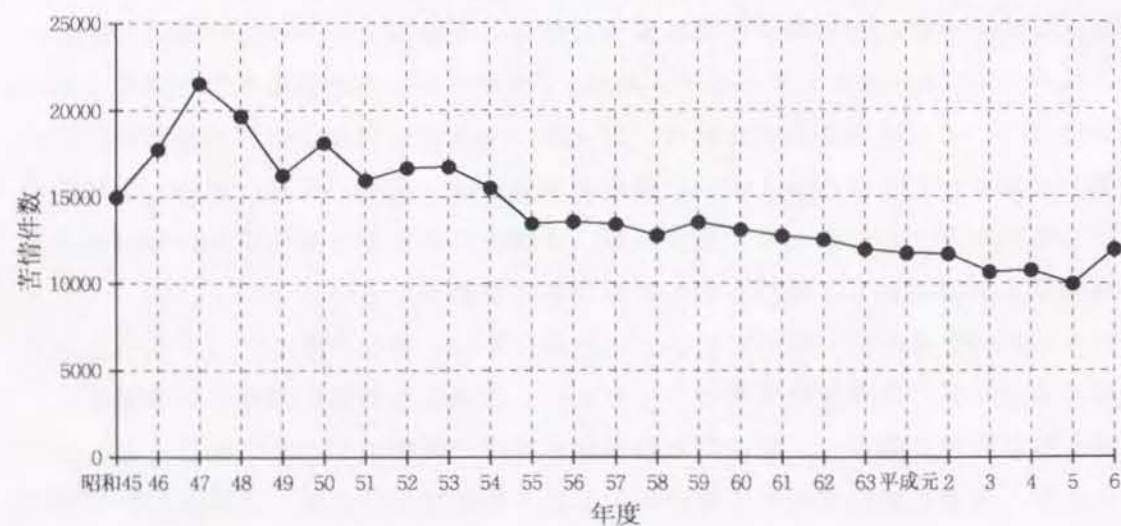


図2-1 悪臭苦情件数の経年変化^{11) 13)}

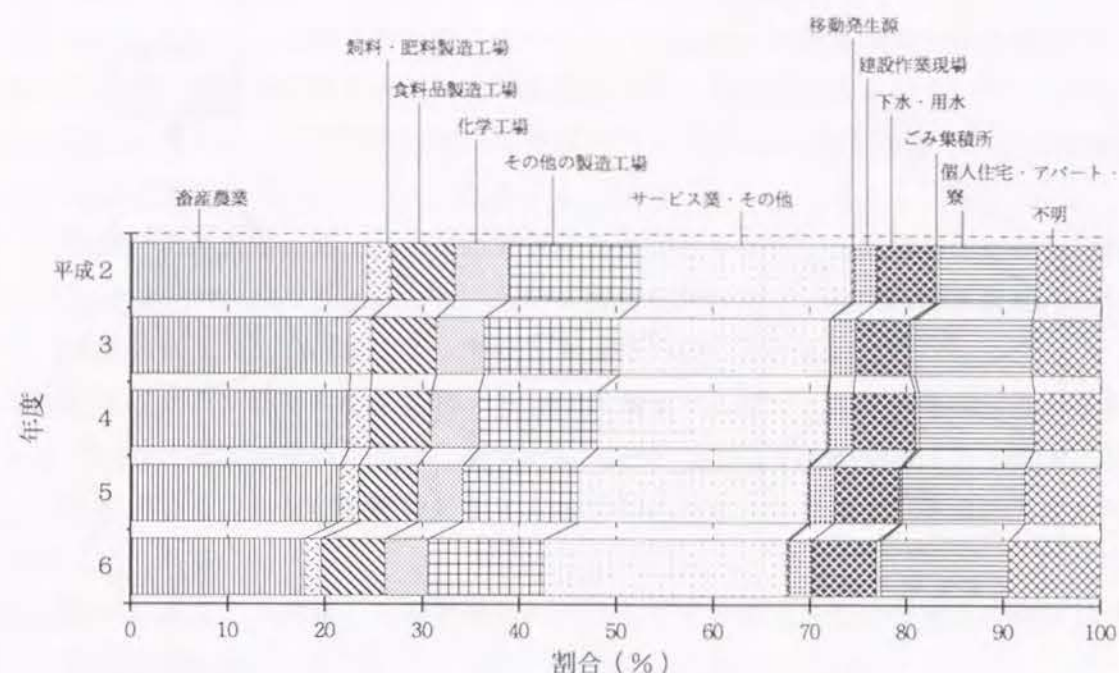


図2-2 悪臭苦情原因の内訳^{13) 15)}

くても住民の意識レベルでは存在すると考えられるにおいについての意識調査を行い^{16) 17)}、生活環境の中で感じられる様々な臭気問題への対応を図っている。

人間がにおいを知覚すると、そこに生理的・心理的および社会的要因が加わり、不快感や嫌悪感が苦情となって表面化する。このような悪臭事象の特徴^{18) 19)}を模式的に示したのが図2-3である。まず、臭気の発生は実に様々な業種に及び、放出形態も千差万別である。また、同業種であっても臭気の発生部位、発生量ならびに組成がかなり異なり、しかも時間的変動がみられる。被害の範囲は、高煙源、大排出量の化学工場では数kmにも達するが、大半の発生源では数百m以内と狭い。発生した臭気は大気中を伝播するが、臭気ガスには大量の水分、粉塵、高濃度の SO_x や NO_x 、塩素やシアン化合物、金属ヒューム等を含む場合が多く、臭気物質の気中変化を含め、感覚量としての臭気の伝播・拡散の状況はほとんど不明である。特に、臭気事象に特徴的な低排出口からの拡散は、局所的な地形や地表気象に大きく影響され、通常の大気拡散式で取り扱われているような単純な濃度減衰はほとんどみられない。むしろ発生臭気が塊状で風下へ移流する場合が多く、種々の臭気物質が拡散した場合に、風下でにおいの質が放出口と大きく異なるにおい分かれ現象もみられる。さらに、特定の排出口のないものや、敷地全体、水路、河川、湖沼などが発生源となる場合もあり、ディーゼルエンジンなどの移動発生源も大きく寄与してい

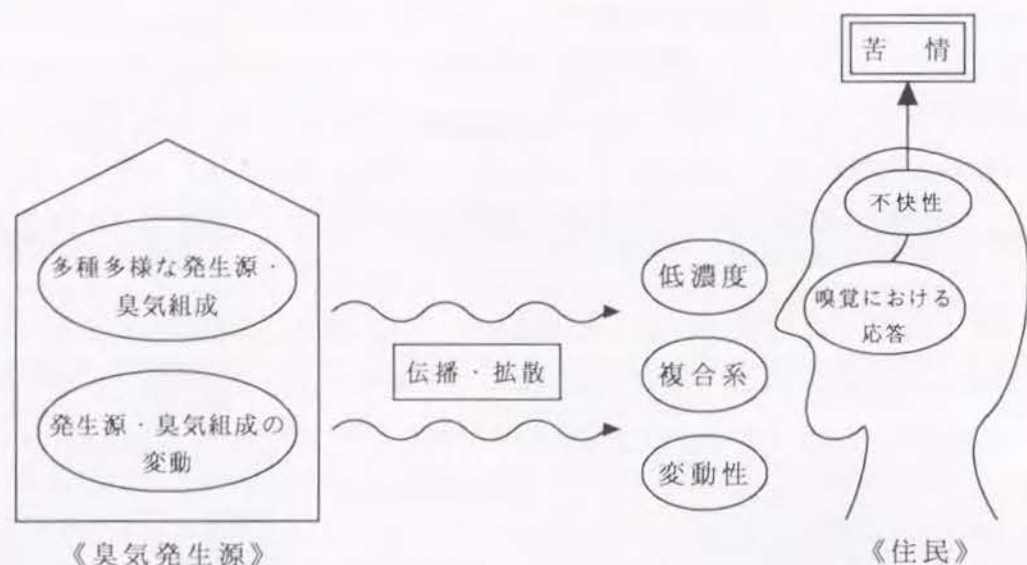


図2-3 悪臭事象の特徴

る。付近住民に達する臭気は、一般に極めて低濃度で、種々の物質が混合した複合臭であり、しかも時間的な変動を伴う。臭気物質の閾値は非常に低濃度であり、さらにこれらが複合することによって全体としての閾値が変化する。また、悪臭公害では被害の一過性が大きな特徴で、臭気のピーク強度、曝露頻度および継続時間が苦情の発生を支配する。悪臭の被害は主に感覚的で、自律神経や満腹中枢を刺激する^{2.6)}ことによって、頭痛、頭重感、食欲不振、吐き気、不安感、睡眠妨害などの身体的・心理的被害を起こす。また、植物の枯死、塗装・建造物の腐食など、影響は極めて広範かつ多様である。

結局、悪臭事象の最大の特徴は、それが人間の感覚としての不快感に起因するという点にある。したがって、におい物質がどれだけ存在するかではなく、それを不快と感じるかどうかの問題であり、このような人間の感覚的応答を合理的に説明する評価方法を確立することが重要になってくるのである。

第3節 悪臭の評価

現在、悪臭防止法では、事業活動に伴って発生する指定悪臭物質（アンモニア、メチルメルカプタンなど22物質）に対する濃度規制がとられており、規制基準としては、

- ①事業場の敷地境界線の地表における濃度の許容限度
- ②煙突などの気体排出口における流量または濃度の許容限度

③事業場からの排出水中の敷地外における濃度の許容限度

が定められている。このうち、③については、排出水中の悪臭物質の蒸散機構が未解明であるなどの理由から悪臭防止法制定以来具体的な設定はされていなかったが、環境庁が中心となって検討を進めた結果^{2.1)-2.3)}、硫黄化合物4物質について規制基準が設定され、平成7年4月から施行されるに至った^{2.4)}。

悪臭防止法の制定にあたっては、悪臭の測定方法が最大の問題になったが、当時の厚生省は以下のような理由から、人間の嗅覚を利用する官能試験法ではなく、特定の悪臭物質の濃度を機器によって測定する機器分析法を採用した^{2.5)}。

- ①規制基準の設定段階においては、悪臭物質の濃度と感覚強度との相関関係を把握しており、規制基準設定後は、ガスクロマトグラフなどの機器を用いて直ちに規制基準遵守の有無などを判断できるものであるから、悪臭規制の将来の方向を示すものである。
- ②悪臭が公害として問題となる閾値の数十倍もしくは数百倍程度の濃度の測定はすでに可能である。
- ③悪臭の原因物質を特定することのできる機器分析法は、発生原因者の特定を容易にし、防止対策をたてやすい。
- ④悪臭防止行政に不可欠である常時規制は、官能試験法では不可能であり、ガスクロマトグラフなどの機器に頼らざるを得ない。
- ⑤特定の悪臭物質の排出防止施設は、他の有臭物質もあわせて除去することができる。

しかし、これに対してはなお、

- ①悪臭の分析測定法は未確立であり、現段階においては官能試験法を採用する方が信頼度が高い。
 - ②悪臭の前駆物質、成分相互の関係、不明確成分、超微量物質など未解明の問題が多い。
 - ③悪臭の成分物質と感覚量との関係は未解明である。
 - ④主たる成分を除去しても悪臭公害の防止にはつながらない。
- などの問題点も指摘された^{2.6)}。

機器分析法は、結果が数値として表示されるために行政になじみやすく、自動測定や連続測定が可能であり、原因物質の種類と存在量が把握できるという利点を持ち、近年の測定機器・測定手法の進歩は、あたかも悪臭物質の濃度規制に説得性があるかのような印象を与えるが、分析に熟練を要し、共存物質による妨害や濃縮操作の不安定性から臭気の完全分析は不可能であり、繰り返し分析が困難で、現場での測定は容易でないなど、多くの欠点もあわせもっている^{2.6) 2.7)}。これに対して環境庁では、悪臭防止法で規定された機器分析法を補完するものとして悪臭物質の簡

易測定法を開発した²⁸⁾が、いずれにせよ、機器分析法の最大の弱点は、検出された数種の物質の濃度から全体としての臭気が住民にどの程度の不快感や嫌悪感を与えるかを表すことができないという点にある²⁹⁾。すなわち、悪臭事象は被害が主に感覚的、一過性であることなどから、人間の感覚に対応した評価を行う必要があり、限られた物質の濃度測定だけでは、種々の物質が共存する環境臭気を感じてとらえることができず³⁰⁾、このことが悪臭現場における混乱の原因となってきた³¹⁾。したがって、悪臭の評価には臭気を直接感覚量として全体的に把握できる感覚的測定が不可欠である。実際、苦情地域の住民を対象としたアンケート調査においても、住民苦情が悪臭被害をよく反映しており³²⁾、工場周辺での機器分析と官能試験法による調査の比較では、機器分析法による濃度測定が影響範囲を著しく過小評価することを示している³³⁾。また、感知率、臭気濃度、不快度、感知頻度などの住民の知覚経験が、環境臭気の評価するうえで利用可能であるという調査結果も報告されている^{34) 35)}。

悪臭防止法における濃度規制と苦情現場での実態との矛盾に困惑した自治体では、臭気感覚量としての把握を基にした規制の必要性を認識し、法による濃度規制とは別に、感覚的測定法に基づく独自の悪臭規制を実施するようになってきた。人間の嗅覚を用いた臭気の測定には、一般的に、①臭気の強度、②臭気の快・不快度、③臭気濃度（臭気がにおわなくなるまでの希釈倍数）の3種類があるが、ほとんどの自治体では、悪臭を感じて総合的にとらえるために、臭気の有無に着目した臭気濃度による評価を採用した。臭気濃度の測定には、注射器法、セントメータ法、無臭室法、オルファクトメータ法、三点比較式臭袋法などがあり^{36) 37)}、特に三点比較式臭袋法³⁸⁾は、トライアングルテスト（3個の袋のうち、1袋に希釈した試料臭気、残りの2袋に無臭空気を入れ、パネルはこれら3袋の中のおいさを嗅ぎ、どの袋ににおいがあるかを回答する）の様式をとるため、測定結果の精度や客観性が他の方法に比べて高く³⁹⁾、東京都⁴⁰⁾をはじめ、多くの自治体で採用されている。

このような動きに対して、環境庁においても官能試験法に関する調査・研究を進め、三点比較式臭袋法についての試験方法を取りまとめる⁴¹⁾とともに、悪臭発生現場での実態調査を行い、臭気濃度を用いて悪臭評価を行う場合の考え方および目標値を報告した⁴²⁾。環境庁ではさらに悪臭発生業種と臭気濃度との関係についての検討も行った⁴³⁾が、悪臭防止法に基づく機器分析法を補完する手段として官能試験法を位置づけ⁴⁴⁾、官能試験法で機器分析法を代替することはできないとする立場⁴⁵⁾は変わらず、将来的には三点比較式臭袋法を悪臭防止法の中に取り入れる方向で調査・検討を進める旨、明言している⁴⁷⁾にもかかわらず、官能試験法の法制化への道は長く閉ざされたままであった。しかし、最近になって悪臭の感覚的評価と規制に向けての議論が活発化し、平成7年4月、官能試験法（三点比較式臭袋法）の導

入を柱とした改正悪臭防止法が成立し、平成8年4月から施行されることになった⁴⁸⁾。三点比較式臭袋法などの種々の官能試験法とその悪臭規制への導入については、第3章で詳述する。

官能試験法の法制化に至るまでには様々な紆余曲折があったが、直接、住民からの苦情を受け、実態を調査し、問題の解決に努力する自治体からすれば、地域住民にとって極めて身近な悪臭公害の被害実態を把握したり、適正な防止対策の指導を行うことは容易ではない^{49) 50)}。言い換えれば、現場で住民の立場に立って苦情に対処すればこそ、悪臭の評価や規制、防止対策の問題点が明らかになる⁵²⁾のであり、それを国が的確に把握し、積極的に検討することが問題の解決へ向けての大きな推進力になるのである。

参考文献

- 1) 西田耕之助：悪臭制御概論（2），環境技術，9，910-914（1980）
- 2) 西田耕之助：臭気（悪臭）の評価と規制，平成元年度第4回臭気対策セミナー講演集，103-152（1989）
- 3) 高木貞敬：におい，西田耕之助監修，消・脱臭技術の進歩と実務，3-16，総合技術センター，東京（1991）
- 4) 大迫政浩：嗅感覚特性からみた臭気事象のとらえかた，環境技術，20，284-292（1991）
- 5) 西田耕之助：悪臭対策の最新技術動向と今後の展望（1），PPM，23（8），22-29（1992）
- 6) 西田耕之助：悪臭総論（1），月刊浄化槽，135，17-21（1987）
- 7) 栗原堅三著：味覚・嗅覚，1-8，化学同人，京都（1990）
- 8) 西田耕之助：消・脱臭剤とそのメカニズム，MOL，26（11），21-29（1988）
- 9) 大迫政浩：感覚的消臭法，西田耕之助監修，消・脱臭技術の進歩と実務，333-346，総合技術センター，東京（1991）
- 10) 石黒辰吉：悪臭公害の現状と課題，PPM，23（8），11-21（1992）
- 11) 環境庁編：平成7年版環境白書 総説，350-351，大蔵省印刷局（1995）
- 12) 小沢典夫：悪臭防止対策のこれまでの歩みと現状、今後の課題，PPM，26（10），45-52（1995）
- 13) 環境庁大気保全局大気生活環境室：平成6年度悪臭防止法施行状況調査について（1995）
- 14) 環境庁編：平成4年版環境白書 各論，113-115，大蔵省印刷局（1992）
- 15) 環境庁編：平成7年版環境白書 各論，130-132，大蔵省印刷局（1995）

- 16) 臭気対策研究協会：平成3年度環境庁委託業務結果報告書 悪臭防止対策検討調査（都市型臭気意識調査）（1992）
- 17) 環境庁長官官房総務課環境調査官：平成3年度環境モニター・アンケート「悪臭問題について」の調査結果（1992）
- 18) 西田耕之助：悪臭事象の特性と規制，臭気の研究，18，257-269（1987）
- 19) 西田耕之助：臭気（悪臭）事象と測定・評価，環境技術，20，293-301（1991）
- 20) 浅賀英世：においの影響，西田耕之助監修，消・脱臭技術の進歩と実務，47-55，総合技術センター，東京（1991）
- 21) 日本環境衛生センター：工場排水悪臭実態調査報告書（1976）
- 22) 環境庁大気保全局特殊公害課：昭和57～59年度排水に含まれる悪臭物質の規制基準設定調査評価報告書（1987）
- 23) 臭気対策研究協会：平成5年度環境庁委託業務結果報告書 悪臭防止対策検討調査（排水に関する検討調査）（1994）
- 24) 吉川和身：排水中の悪臭物質の規制基準の設定と今後の課題，臭気の研究，25，201-209（1994）
- 25) 環境庁大気保全局特殊公害課監修，悪臭法令研究会編著：ハンドブック悪臭防止法，1-12，ぎょうせい，東京（1993）
- 26) 西田耕之助：悪臭制御概論（6），環境技術，10，355-366（1981）
- 27) 石黒辰吉：悪臭公害，大気汚染学会誌，20，317-330（1985）
- 28) 環境庁大気保全局特殊公害課編：悪臭物質簡易測定マニュアル，第一法規，東京（1990）
- 29) 西田耕之助：臭気の評価方法に関する知識と情報，臭気の研究，19，359-367（1988）
- 30) 西田耕之助：悪臭制御概論（4），環境技術，10，201-206（1981）
- 31) 石黒辰吉：悪臭防止法の規制体系の見直しを，環境技術，9，499-500（1980）
- 32) Jonsson, E., Deane, M. & Sanders, G., 鈴鹿孝，西田耕之助訳：パルプ工場からの悪臭に対する住民の反応＜カリフォルニア州Eurekaでの事例＞，悪臭の研究，5（22），7-25（1975）
- 33) 古谷長蔵，早田寿文，貞兼康伸：醗酵工場における悪臭の排出実態と環境への影響，悪臭の研究，7（35），24-34（1979）
- 34) 小葉松英行，須藤幸蔵，阿部弦作：住民の知覚経験を基にした環境臭気の評価手法に関する研究（第1報），悪臭の研究，9（42），13-20（1980）
- 35) 西田耕之助：悪臭総論（4），月刊浄化槽，143，19-45（1988）
- 36) 悪臭公害研究会編：悪臭と官能試験，悪臭公害研究会，東京（1980）
- 37) 岩崎好陽：臭気の測定方法，大気汚染学会誌，27，A17-A23（1992）

- 38) 岩崎好陽，福島悠，中浦久雄，矢島恒広，石黒辰吉：三点比較式臭袋法による臭気の測定（I），大気汚染学会誌，13，246-251（1978）
- 39) 岩崎好陽：臭気の官能試験についての知識と情報，臭気の研究，19，341-346（1988）
- 40) 二瓶久雄：東京都における嗅覚による悪臭規制と測定方法について，大気汚染学会誌，13，393-401（1978）
- 41) 環境庁大気保全局特殊公害課：昭和52年度官能試験法調査報告書（1978）
- 42) 環境庁大気保全局特殊公害課：昭和56年度官能試験法調査報告書（1982）
- 43) 環境庁大気保全局特殊公害課：昭和58年度三点比較式臭袋法調査結果（1984）
- 44) 近藤利明：悪臭公害の現状，昭和58年度第1回悪臭公害対策セミナー講演集，99-116（1983）
- 45) 近藤利明：悪臭防止法の施行と三点比較式臭袋法の活用について，昭和60年度第2回悪臭公害対策セミナー講演集，1-12（1985）
- 46) 藤倉良：悪臭防止法と官能試験法について，昭和61年度第2回悪臭公害対策セミナー講演集，1-8（1986）
- 47) 波平俊彦：悪臭評価法としての官能試験法の取扱い動向，環境技術，11，638-642（1982）
- 48) 山本進一：改正悪臭防止法について，臭気の研究，26，226-228（1995）
- 49) 石黒辰吉：東京都における悪臭公害の現状と規制の経緯ならびに今後の課題（その1），悪臭の研究，9（45），18-25（1981）
- 50) 石黒辰吉：東京都における悪臭公害の現状と規制の経緯ならびに今後の課題（その2），悪臭の研究，10（48），1-8（1981）
- 51) 岡田俊次：大阪市にみる悪臭対策の実績，公害と対策，27，1157-1163（1991）
- 52) 本多淳裕，福山丈二：悪臭防止法の総点検，悪臭の研究，8（40），1-11（1980）

第3章 嗅覚官能試験法およびその悪臭規制への導入

第1節 嗅覚官能試験法^{1)~4)}

においの感覚は、種々の臭気物質の相互作用の結果として総合的に知覚されるものであり、嗅覚における受容メカニズムも未だ解明されていないために、音や光のような刺激量の物理的測定による取り扱いだけでは不十分である。そこで、人間の嗅覚を用いて直接的ににおいを測定する官能試験法が古くから開発され、様々な分野で活用されてきた。図3-1には、種々の官能試験法を整理して示すが、ここではまず大きく直接評価法と希釈法に分類している。直接評価法は、悪臭現場などで対象となる臭気に何の操作も加えず、強度、快・不快度、質などを直接判断する方法であり、希釈法は、対象臭気を無臭空気や溶媒で希釈した後に判定操作を行う方法である。以下では、希釈法のうち、主なものについて説明する。

初期の官能試験は、様々な臭気物質に対する各被験者の閾値を測定するためのものがほとんどであった。最も古くに用いられたものの一つであるZwaardemaker⁵⁾の嗅覚計は、二重の管から構成されており、外側の管は内側の管上を滑走できるようになっている。外管の内面には臭気物質が付着されており、内管をずらして2本の管の重なり具合を加減することによって、呈示される臭気物質の量を調節し、被験者は内管の一端にある嗅ぎ口から臭気を吸入して、内管に示された目盛をもって嗅力を測定する。この方法は、構造的にも手法的にも非常に簡易であるが、定量的な測定が行われているかどうかは疑わしい⁶⁾。

被験者の吸気速度や吸気量が統制されていないという点もZwaardemakerの嗅覚計の問題点の一つであったが、これに対してElsbergとLevy⁷⁾は、吹き付け式嗅覚計を用いて、被験者に一定量の試料を呈示しようと試みた。この方法では、まず液体の臭気物質をビン内で揮発させて飽和状態にし、ここに一定量の空気を注入してやや加圧状態にしておく。そして、コックを開くと試料臭気が被験者の鼻孔に一定速度で一定量だけ吹き付けられるというものである。しかし、被験者はにおいそのものの感覚と空気流が鼻孔内粘膜に接触したときの感覚を混同する恐れがある^{8) 9)} ために、特に低濃度の試料を用いて測定をする場合には問題がある。

液体で希釈した臭気物質をビンやフラスコに入れて被験者に嗅がせる嗅ぎビン法は、最も一般的な臭気呈示方法の一つである。特に平衡式嗅ぎビンは、多くの実験で成果をあげている^{10) 11)}。また、嗅ぎビンの代わりににおい紙や、脱脂綿をガラス棒の先に巻き付けたものを用いることもある¹²⁾。さらに、臭気物質をマイクロカプセルに封入したものを紙片に貼り、それをひっかくことによって臭気物質を放出させ、においを嗅ぐという方法もある¹³⁾。これらの方法は、手法的には簡単だが、

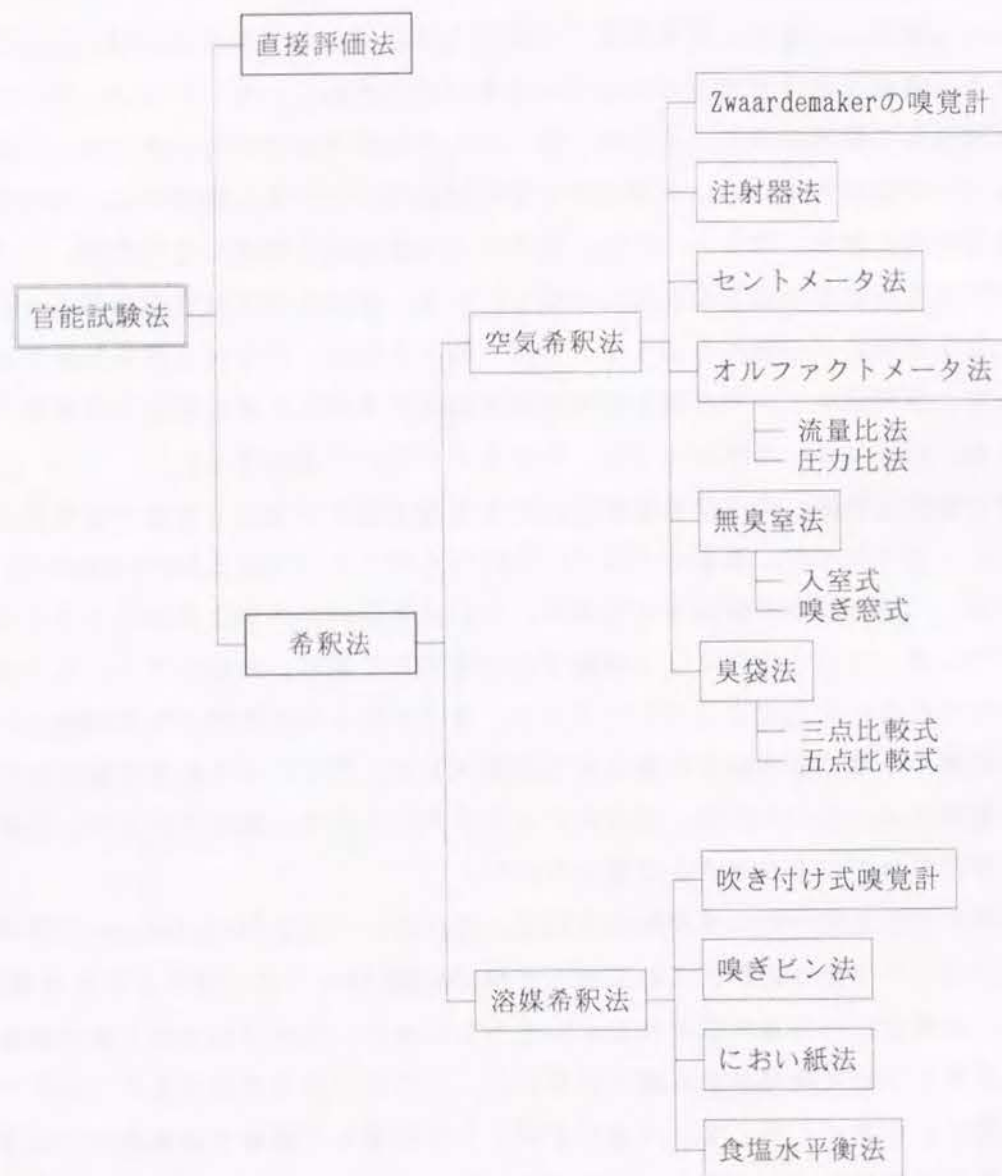


図3-1 種々の官能試験法

においを嗅ぐ操作がすべて被験者に任せられているために、閾値付近の弱い刺激の測定に対しては注意が必要である。

Jones¹⁴⁾は、注射器内の臭気をモーターによって自動的に押し出す方法を考案し、benzeneとmethyl salicylateの閾値を測定したが、同じ頃、注射器を用いて臭気濃度を測定する方法（注射器法）が開発され¹⁵⁾¹⁶⁾、悪臭の評価に広く用いられるようになった。この方法では、容積100~200mlのガラス製注射器を用いて臭気を希釈し、被験者が鼻孔に直接注入してにおいの有無を判断する（図3-2）。すなわち、例えば10倍希釈の試料臭気を作成する場合は、100mlの注射器に10mlの原臭気を採取した後、無臭空気を90ml吸引して100mlとする。ここでにおいが感じられるようであれば、この注射器の先端に別の注射器を接続して一定量の臭気を移し、同様に無臭空気を吸引して希釈操作を行い、においの有無を判定させる。そして、このような操作をにおいが感じられなくなるまで継続し、そのときの希釈倍数から臭気濃度を算出する。この方法は、1957年にASTM D 1391-57¹⁷⁾に採用され、Millsら¹⁸⁾によってさらに検討が加えられた。日本でも、三点比較式臭袋法が普及するまでは改良を重ねながら盛んに用いられたが、鼻孔付近に異物感があり、注射器の内面に付着した臭気を除去するために十分な注意が必要であるなどの問題点も存在した。

その後、特に一般環境における臭気濃度測定方法として、セントメータ法がHueyら¹⁹⁾によって提案された。これは、図3-3に示す箱型の装置（セントメータ）を用いて、希釈された試料臭気を被験者が鼻あてから嗅ぎ込み、臭気の有無を判定するものである。セントメータの上下には希釈空気取り入れ用の穴があり、ここから

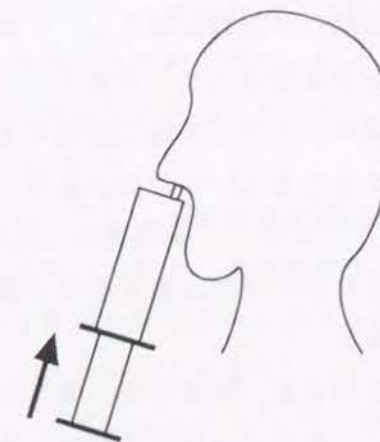


図3-2 注射器法¹⁶⁾によるにおいの嗅ぎ方

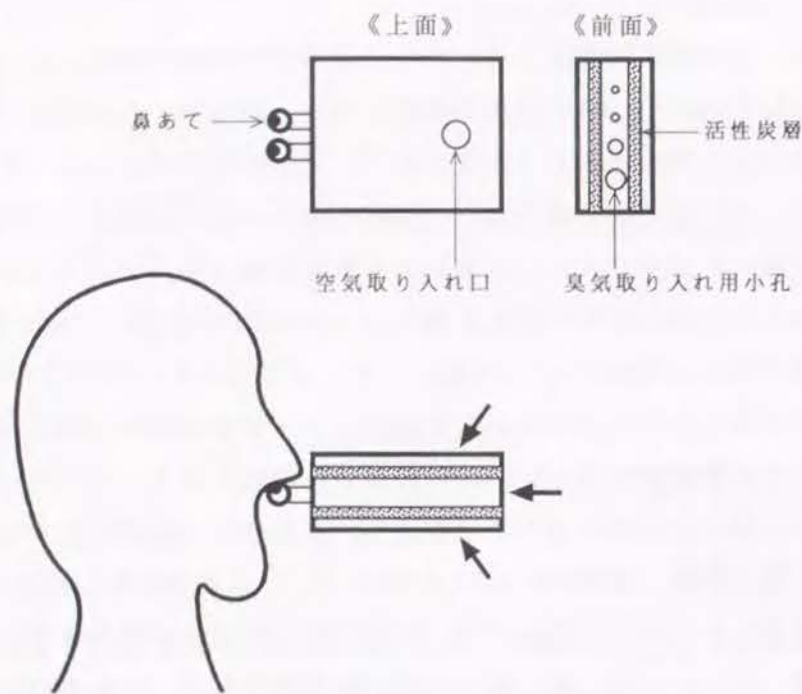


図3-3 セントメータ^{1,2)}の構造とその使い方

入った空気は活性炭層を通過することによって無臭空気となる。また、前面には臭気取り入れ用のいくつかの径の小孔があり、反対側の面には鼻あてが設置されている。被験者は、まずすべての小孔をふさいでから無臭空気のみを吸入し、これを対照として、今度は小孔の一つを開けて同様に吸入し、においの有無を判断する。そして、においが感じられなくなるまで小孔の径を変えながらこの操作を繰り返し、臭気濃度を算出する。この方法は、極めて手軽に現場で臭気濃度を求めることができるために、苦情に迅速に対応できるという利点があり、アメリカ各地で悪臭の規制基準判定に採用されている²⁰⁾。しかし、臭気濃度の判定段階が大まかになり、また現場臭気の種類によっては活性炭だけでは無臭空気が得られない場合も考えられ、正確さを欠くという問題点もある。

このような簡易な測定方法に対して、試料臭気の濃度や呈示方法を厳密にコントロールすることができるオルファクトメータも以前から数多く開発されてきた²¹⁾。これらの装置では、ポンプ、電磁弁、ニードルバルブ、流量計などを用いて、原臭気を所定の希釈倍数にまで希釈して被験者に呈示し、臭気の有無や強度、快・不快度などを判定させる。WoodrowとKarpman²²⁾は、サーモスタットタンク内の温度を変化させることによって試料臭気の濃度を調節し、順応に関する検討を行っているが、

これは、最も初期のオルファクトメータに属すると考えられる。また、GundlachとKenway²³⁾は、オルファクトメータによって閾値の測定を行っている。しかし、これらの装置は、まだ試料調製が厳密ではなく、操作上の問題点もあり⁶⁾、一般的使用には至らなかった。その後、Nader²⁴⁾は、ニードルバルブや流量計を組み込んだ3系統の空気供給経路からなるオルファクトメータを開発し、Cederlöfら²⁵⁾は、テフロン製のフードによって試料臭気を呈示するオルファクトメータを用い、製紙工場からの排出ガスの閾値を測定している。また、Hemeon²⁶⁾は、オダメータによる臭気の定量的評価について検討を行い、Dravnieksら²⁷⁾⁻²⁹⁾は、オルファクトメータに三点比較法を導入した装置を開発し、排出口および環境における臭気を測定するとともに、再現性や算出方法に関する考察も行っている。さらに、Stordeurら³⁰⁾は、マイクロプロセッサを用いて流量やバルブ操作の制御を可能にし、Sweetenら³¹⁾は、1-butanolとの強度比較によって環境臭気を測定するオルファクトメータを開発した。日本では、Nishidaら³²⁾がサイクロオルファクターを開発し、臭気の評価に関する種々の実験的検討を行っている³³⁾。なお、オルファクトメータによる閾値および閾上刺激の測定については、DravnieksとJarke³⁴⁾やTurkら³⁵⁾が解説している。

無臭室法は、被験者が自然に近い状態においてにおいを嗅ぐことができるという大きな利点をもち、種々の測定に用いられてきた。この方法には、被験者が全身無臭室に入ってにおいを嗅ぐ入室式（標準型）と、顔の部分だけ無臭室に入れてにおいを嗅ぐ嗅ぎ窓式がある。Leonardosら³⁶⁾は、約13m³の無臭室を用いて53物質の閾値を測定し、物質の特性に関連した考察も加えている。また、Lindvall³⁷⁾は、車に搭載した移動式無臭室で道路近傍の臭気を測定し、SullivanとLeonardos³⁸⁾は、排出口でトラップした臭気の強度と閾値の測定について検討している。日本においても香料会社³⁹⁾や日本環境衛生センター⁴⁰⁾、各自治体の公害研究機関⁴¹⁾などで無臭室が設置され、悪臭評価に関する研究が行われてきた。特に、悪臭防止法における物質濃度規制の基準値は、嗅ぎ窓式無臭室を用いて求められた、物質濃度と臭気強度の関係⁴²⁾に基づいて設定されている⁴³⁾。

前述したように、日本においては、一時期注射器法による臭気の測定が盛んに行われたが、個人によるばらつきが大きく、再現性に乏しいなどの問題点が指摘され、その理由として、注射器のすり合わせ部分への臭気の吸着や、被験者の先入観を取り除くことができないなどの点が挙げられた⁴⁴⁾。そこで、これらの注射器法の欠点を改良する形で東京都を中心に検討が進められ⁴⁵⁾、新しく三点比較式臭袋法が開発された^{46) 47)}。この方法は、ポリエステル製の臭袋（3袋1組）に無臭空気を満たし、そのうちの1袋には所定の希釈倍数になるように注射器で原臭気を注入し、残りの2袋は無臭空気のみをそのまま、どの袋ににおいがあるかを被験者に判定させるものである。三点比較式臭袋法には、排出口における測定法と環境臭気に対する測

定法の2種類があるが、ともににおいの有無が正しく判断できなくなったときの希釈倍数から臭気濃度を算出する。また、臭気濃度の常用対数を10倍した臭気指数を単位として用いる場合もある。三点比較式臭袋法による悪臭の規制については、本章第2節で詳述する。なお、上述した種々の官能試験法のうち、主な方法の特徴と問題点については、西田と石黒⁴⁸⁾がまとめている。

第2節 官能試験法の悪臭規制への導入

本章第1節で述べたように、官能試験法には様々な種類が存在するが、悪臭の官能規制においても、被害地域の特性や時代背景、悪臭規制当事者の政策などを反映して、各地域で特徴的な方法が採用されてきた。アメリカでは、各州・地域によって悪臭問題の深刻さが異なることから、各自治体独自の具体的規制が実施されており、特にセントメータ法と注射器法が多く採用されている^{20) 49)}。Gruberら⁵⁰⁾は、悪臭評価に用いる官能試験機器に必要とされる条件として、①迅速な測定が可能であること、②携帯性に優れていること、③1人で測定が可能であること、④経済的であること、の4点を挙げ、セントメータ法、注射器法をはじめ、いくつかの官能試験法の批評を行っている。また、Duffee⁵¹⁾やItzkowitz⁵²⁾は、これらの官能試験機器の問題点に言及し、Prokop⁵³⁾は、悪臭規制のあり方について提言を行っている。一方、アメリカ以外の国でも官能試験法による悪臭規制が行われており、特にヨーロッパではオルファクトメータ法を用いる国が多く、台湾では三点比較式臭袋法が採用されている^{49) 54)}。

日本では、悪臭防止法の制定に先んじて、昭和40年に宮城県が公害防止条例の中で悪臭の具体的な規制基準値を定め、工場や事業場に対して悪臭低減の指導を行ってきた⁵⁵⁾。ここで公定法とされた食塩水平衡法は、1%の食塩水に平衡に達するまで臭気を曝気吸収させた後、同じく1%の食塩水でにおいを感じなくなるまで希釈して臭気濃度を求める方法である⁵⁶⁾。その後、東京都は、大都市であるという特殊性も考慮したうえで、悪臭の感覚的測定が不可欠との考えに立脚し、種々の官能試験法の比較や測定手法の検討、悪臭現場におけるフィールド調査など⁴⁵⁾を行った結果、悪臭防止法制定直後の昭和47年に三点比較式臭袋法を提案し⁴⁶⁾、昭和52年には東京都公害防止条例の改正に伴って正式に導入した。なお、三点比較式臭袋法は、昭和48年に施行された草加市公害防止条例において先に採用されている⁵⁷⁾。この三点比較式臭袋法の開発によって、悪臭防止法とは別に官能試験法を用いた自治体独自の悪臭規制が進み、平成7年1月現在、9自治体が条例に、30自治体が指導要綱、指導指針、指導基準などに採用している（宮城県は重複）。特に宮城県は、公害防止条例に基づく測定方法として五点比較式臭袋法を、悪臭公害防止対策要綱における臭気判定方法として三点比較式臭気採点法を制定しており、特徴的な臭気対策を

推進している^{55) 58)}。また、東大阪市は三点比較式臭袋法を改良した排出口と環境に共通する測定方法を悪臭公害防止指導要綱に採用している⁵⁹⁾。

このような自治体の動きに対して、環境庁も官能試験法に関する調査・研究を進め、昭和53年には三点比較式臭袋法についての試験方法を取りまとめた⁶⁰⁾。その後、さらに悪臭発生現場での実態調査を行うとともに、自治体や民間団体による実測データを収集し、昭和57年には臭気濃度を用いて悪臭評価を行う場合の考え方および目標値を報告した⁶¹⁾。また、平成4年12月には、三点比較式臭袋法の測定精度を確保するために、官能試験実施者（オペレータ）の知識および技能の水準について公益法人が行う審査・証明事業を環境庁長官認定するための規程を環境庁告示第91号「嗅覚を用いる臭気の判定試験に関する知識及び技能の審査・証明事業の認定に関する規程」として整備し、あわせて同規程に基づく公益法人が行うべき審査・証明事業の審査対象となる方法として、三点比較式臭袋法を環境庁告示第92号「嗅覚を用いる臭気の判定試験の方法」として示した。さらに平成5年1月には、社団法人臭気対策研究協会が実施する臭気判定技士審査・証明事業を環境庁長官名で認定した⁶²⁾。そして、環境庁を中心としたその後の調査・検討を経て、平成7年4月、官能試験法の導入を柱とした悪臭防止法の改正法案が成立し、平成8年4月から施行されることになった⁶³⁾。図3-4に示したように、改正後の悪臭防止法では、現行の物質濃度規制によっては十分な効果が見込まれない区域に対して嗅覚測定法（三点比較式臭袋法）に基づく規制を行うことが可能であるとしており、その規制基準は臭気指数として設定されることとしている。

今回の悪臭防止法の改正は、法制定当初から問題とされてきた物質濃度規制に加えて、人間の嗅覚を用いる官能試験法を導入したという点で画期的であるが、規制基準の設定に際しての考え方や三点比較式臭袋法の測定方法自体に関する問題点は依然として存在しており、今後さらに改善を加える必要があると考えられる。これらの点に関して、次章以降で検討する。

目的	悪臭の規制、悪臭防止対策の推進によって生活環境を保全し、国民の健康を保護する
規制地域	都道府県知事は、悪臭原因物の排出を規制する地域を指定
規制基準	<p>物質濃度規制 特定悪臭物質の種類ごとに総理府令で定める範囲内において都道府県知事が定める (1)敷地境界線…大気中の濃度の許容限度 (2)気体排出口…流量または排出気体中の濃度の許容限度 (3)排水…排水中の濃度の許容限度</p> <p>官能規制 物質濃度規制では不十分な場合に総理府令で定める範囲内において都道府県知事が定める (1)敷地境界線…大気の臭気指数の許容限度 (2)気体排出口…臭気排出強度または排出気体の臭気指数の許容限度 (3)排水…排水の臭気指数の許容限度</p>
改善勧告および改善命令	規制基準が達成されず、住民の生活環境が損なわれている場合 改善勧告…悪臭原因物の排出を減少させるよう勧告 改善命令…勧告に従わない場合 命令に従わない場合→罰則
悪臭の測定	都道府県知事は、大気中の特定悪臭物質濃度または臭気指数について必要な測定を実施 →総理府令で定める者に委託可能
悪臭防止の推進	国民の責務…日常生活に伴う悪臭の防止 国および地方公共団体の責務…悪臭の防止による生活環境の保全

図3-4 改正悪臭防止法の体系

参考文献

- 1) 重田芳廣：官能試験方法の概要，悪臭公害研究会編，悪臭と官能試験，97-192，悪臭公害研究会，東京（1980）
- 2) 西田耕之助：悪臭制御概論（5），環境技術，10（3），70-80（1981）
- 3) Engen, T. 著，吉田正昭訳：匂いの心理学，39-67，西村書店，新潟（1990）
- 4) 岩崎好陽：官能試験法，西田耕之助監修，消・脱臭技術の進歩と実務，109-124，総合技術センター，東京（1991）
- 5) Zwaardemaker, H. : Compensation von gerüchen mittelst des doppelriechmessers, Fortschritte der Medicin, 19, 721-731 (1889)
- 6) Wenzel, B.M. : Techniques in olfactometry: A critical review of the last one hundred years, Psychological Bulletin, 45, 231-247 (1948)
- 7) Elsberg, C.A. & Levy, I. : The sense of smell. I. A new and simple method of quantitative olfactometry, Bulletin of the Neurological Institute of New York, 4, 5-19 (1935)
- 8) Jones, F.N. : Olfactory absolute thresholds and their implications for the nature of the receptor process, Journal of Psychology, 40, 223-227 (1955)
- 9) Benignus, V.A. & Prah, J.D. : Flow thresholds of nonodorous air through the human naris as a function of temperature and humidity, Perception & Psychophysics, 27, 569-573 (1980)
- 10) Engen, T., Kilduff, R.A. & Rummo, N.J. : The influence of alcohol on odor detection, Chemical Senses and Flavor, 1, 323-329 (1975)
- 11) Mair, R., Capra, C., McEntee, W.J. & Engen, T. : Odor discrimination and memory in Korsakoff's psychosis, Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 6, 445-458 (1980)
- 12) Engen, T. : Psychophysical scaling of odor intensity and quality, Annals of the New York Academy of Sciences, 116, 504-516 (1964)
- 13) Davis, R.G. : The microencapsulation of odorants as a method of stimulus control and delivery in studies of odor quality perception, Chemical Senses and Flavor, 4, 191-206 (1979)
- 14) Jones, F.N. : An olfactometer permitting stimulus specification in molar terms, American Journal of Psychology, 67, 147-151 (1954)
- 15) Byrd, J.F. : Demonstration--Syringe odor measurement technique, Journal of Air Pollution Control Association, 7, 58-59 (1957)
- 16) Fox, E.A. & Gex, V.E. : Procedure for measuring odor concentration in air

- and gases, Journal of Air Pollution Control Association, 7, 60-61 (1957)
- 17) ASTM Designation: D 1391-57: Standard Method for Measurement of Odor in Atmospheres (Dilution Method)
 - 18) Mills, J.L., Walsh, R.T., Luedtke, K.D. & Smith, L.K.: Quantitative odor measurement, Journal of Air Pollution Control Association, 13, 467-475 (1963)
 - 19) Huey, N.A., Broering, L.C., Jutze, G.A. & Gruber, C.W.: Objective odor pollution control investigations, Journal of Air Pollution Control Association, 10, 441-446 (1960)
 - 20) Leonardos, G.: A critical review of regulations for the control of odors, Journal of Air Pollution Control Association, 24, 456-468 (1974)
 - 21) Mateson, J.F.: Olfactometry: Its techniques and apparatus, Journal of Air Pollution Control Association, 5, 167-170 (1955)
 - 22) Woodrow, H. & Karpman, B.: A new olfactometric technique and some results, Journal of Experimental Psychology, 2, 431-447 (1917)
 - 23) Gundlach, R.H. & Kenway, G.: A method for the determination of olfactory thresholds in humans, Journal of Experimental Psychology, 24, 192-201 (1939)
 - 24) Nader, J.S.: An odor evaluation apparatus for field and laboratory use, American Industrial Hygiene Association Journal, 19, 1-7 (1958)
 - 25) Cederlöf, R., Edforts, M.L., Friberg, L. & Lindvall, T.: On the determination of odor thresholds in air pollution control--An experimental field study on flue gases from sulfate cellulose plants, Journal of Air Pollution Control Association, 16, 92-94 (1966)
 - 26) Hemeon, W.C.L.: Technique and apparatus for quantitative measurement of odor emissions, Journal of Air Pollution Control Association, 18, 166-170 (1968)
 - 27) Dravnieks, A. & Prokop, W.H.: Source emission odor measurement by a dynamic forced-choice triangle olfactometer, Journal of Air Pollution Control Association, 25, 28-35 (1975)
 - 28) Dravnieks, A., Prokop, W.H. & Boehme, W.R.: Measurement of ambient odors using dynamic forced-choice triangle olfactometer, Journal of Air Pollution Control Association, 28, 1124-1130 (1978)
 - 29) Dravnieks, A., Schmidtsdorff, W. & Meilgaard, M.: Odor thresholds by forced-choice dynamic triangle olfactometry: Reproducibility and methods of calculation, Journal of Air Pollution Control Association, 36, 900-905 (1986)
 - 30) Stordeur, R.T., Stordeur, C.M., Levine, S.P. & Hoggatt, J.H.: A new microprocessor-controlled dynamic olfactometer, Journal of Air Pollution Control Association, 31, 377-380 (1981)
 - 31) Sweeten, J.M., McFarland, A.R., Sorel, J.E., Gauntt, R.O. & Reddell, D.L.: A butanol olfactometer for field measurement of ambient odors, Journal of Air Pollution Control Association, 34, 1208-1213 (1984)
 - 32) Nishida, K., Honda, T. & Bota, K.: New apparatus on the measurement of odor intensity, 68th annual meeting of APCA, 75-55, 3, 1-15 (1975)
 - 33) 西田耕之助: サイクロオルファクター, 悪臭公害研究会編, 悪臭と官能試験, 241-295, 悪臭公害研究会, 東京 (1980)
 - 34) Dravnieks, A. & Jarke, F.: Odor threshold measurement by dynamic olfactometry: Significant operational variables, Journal of Air Pollution Control Association, 30, 1284-1289 (1980)
 - 35) Turk, A., Switala, E.D. & Thomas, S.H.: Suprathreshold odor measurements by dynamic olfactometry: Principles and practice, Journal of Air Pollution Control Association, 30, 1289-1294 (1980)
 - 36) Leonardos, G., Kendall, D. & Barnard, N.: Odor threshold determinations of 53 odorant chemicals, Journal of Air Pollution Control Association, 19, 91-95 (1969)
 - 37) Lindvall, M.D.: Sensory measurement of ambient traffic odors, Journal of Air Pollution Control Association, 23, 697-700 (1973)
 - 38) Sullivan, F. & Leonardos, G.: Determination of odor sources for control, Annals of the New York Academy of Sciences, 237, 339-349 (1974)
 - 39) 佐久間賢三, 三浦卓, 土門徹, 金沢孝四郎, 播磨慎一, 並木太一郎: 無臭室による臭気官能測定, 大気汚染研究 (第8回大気汚染研究全国協議会大会講演要旨集), 2 (1), 55-56 (1967)
 - 40) 竹内教文, 永田好男, 石黒智彦, 長谷川隆, 重田芳廣, 大場恵美子: 無臭室法による悪臭の物質濃度と臭気強度および不快度との関係, 大気汚染研究 (第16回大気汚染研究全国協議会大会号), 10 (4), 494 (1975)
 - 41) 林関一, 小池一美, 小島一郎, 星加安之: 悪臭公害調査のための無臭室の設置例, 大気汚染研究 (第13回大気汚染研究全国協議会大会号), 7 (2), 170 (1972)

- 42) 日本環境衛生センター：悪臭物質の測定等に関する研究（1980）
- 43) 環境庁大気保全局特殊公害課監修，悪臭法令研究会編著：ハンドブック悪臭防止法，36-65，ぎょうせい，東京（1993）
- 44) 石黒辰吉，岩崎好陽：三点比較式臭袋法の理論と実際，悪臭公害研究会編，悪臭と官能試験，193-240，悪臭公害研究会，東京（1980）
- 45) 東京都公害研究所：悪臭の評価（1972）
- 46) 岩崎好陽，石黒辰吉，小山功，福島悠，小林温子，大平俊男：三点比較式において袋法について，大気汚染研究（第13回大気汚染研究全国協議会大会号），7（2），168（1972）
- 47) 岩崎好陽，福島悠，中浦久雄，矢島恒広，石黒辰吉：三点比較式臭袋法による臭気の測定（I），大気汚染学会誌，13，246-251（1978）
- 48) 西田耕之助，石黒辰吉編著：悪臭防止技術要覧，13-45，環境技術研究会，大阪（1977）
- 49) 臭気対策研究協会 平成6年度官能試験法に関する検討会資料（1995）
- 50) Gruber,C.W., Jutze,G.A. & Huey,N.A.: Odor determination techniques for air pollution control, Journal of Air Pollution Control Association, 10, 327-330（1960）
- 51) Duffee,R.A.: Appraisal of odor-measurement techniques, Journal of Air Pollution Control Association, 18, 472-474（1968）
- 52) Itzkowitz,G.S.: Mathematics of the syringe dilution odor measurement technique, Journal of Air Pollution Control Association, 33, 45-47（1983）
- 53) Prokop,W.H.: Developing odor control regulations: Guidelines and considerations, Journal of Air Pollution Control Association, 28, 9-16（1978）
- 54) Derenzo,D.R. & Gnyp,A.(Eds.): Recent Developments and Current Practices in Odor Regulations, Controls and Technology, Air & Waste Management Association, Pittsburgh（1991）
- 55) 佐藤仁一：宮城県における悪臭公害の現状と防止対策，産業と環境，23（3），90-95（1994）
- 56) 環境庁大気保全局特殊公害課監修：においの用語と解説，臭気対策研究協会，東京（1990）
- 57) 佐々木晴二：悪臭の官能試験法導入20年をふり返って，産業と環境，23（12），90-93（1994）
- 58) 宮城県公害対策審議会悪臭対策専門委員会：公害防止条例における悪臭の規制

基準の改正に関する報告書（1983）

- 59) 東大阪市悪臭規制技術検討会：官能試験法の導入に関する報告書（1987）
- 60) 環境庁大気保全局特殊公害課：昭和52年度官能試験法調査報告書（1978）
- 61) 環境庁大気保全局特殊公害課：昭和56年度官能試験法調査報告書（1982）
- 62) 環境庁大気保全局特殊公害課監修，悪臭法令研究会編著：ハンドブック悪臭防止法，159-165，ぎょうせい，東京（1993）
- 63) 山本進一：改正悪臭防止法について，臭気の研究，26，226-228（1995）

第4章 従来の悪臭評価・規制方法の問題点およびその改善に関する検討

第1節 概説

昭和46年の悪臭防止法制定に際しては、人間の嗅覚を用いる官能試験法ではなく、機器分析による指定悪臭物質の濃度規制が採用された。ここで、法に基づく悪臭物質の指定については、昭和47年の中央公害対策審議会答申において、①悪臭公害の主要な原因となっている物質であること、②当該物質の大気中の濃度を測定しうるものであること、という二つの要件を満たすものを指定すべきであるとされ、また事業場敷地境界線における規制基準値としては、同答申において、規制地域の住民の大多数が悪臭による不快感をもつことのないような濃度の範囲として定めることとされた。すなわち、規制基準の範囲としては、物質濃度と臭気強度および快・不快度との関係についての調香師を被験者とした無臭室法による官能試験結果を基礎として、表4-1に示す6段階臭気強度尺度によるものとし、その下限は臭気強度2.5（2と3の間）に対応する濃度、その上限は地域の自然的・社会的条件によって悪臭に対する順応のみられる場合があることを考慮して、臭気強度3.5（3と4の間）に対応する濃度とすることとされた¹⁾。このような方針に基づいて、現在のところ、表4-2に示す22物質が悪臭物質として指定されている²⁾。

しかし、悪臭防止法制定当時から、物質濃度測定に基づいた悪臭規制の限界が指摘され、実際、第3章でも述べたように、法律制定後に多くの自治体で官能試験法による悪臭規制が条例や指導要綱などに取り入れられてきた。このような中で、環境庁においても官能試験法に関する調査・研究を行い、平成7年4月の悪臭防止法

表4-1 6段階臭気強度表示法

臭気強度	内 容
0	無臭
1	やっと感知できるにおい（検知閾値濃度）
2	何のにおいであるかがわかる弱いにおい（認知閾値濃度）
3	らくに感知できるにおい
4	強いにおい
5	強烈なにおい

表4-2 指定悪臭物質の臭気強度と濃度の関係²⁾
点線枠内は悪臭防止法による規制基準の範囲。

物質名	下記の臭気強度に対応する濃度 (ppm)						
	1	2	2.5	3	3.5	4	5
アンモニア	0.1	0.6	1	2	5	10	40
メチルメルカプタン	0.0001	0.0007	0.002	0.004	0.01	0.03	0.2
硫化水素	0.005	0.006	0.02	0.06	0.2	0.7	8
硫化メチル	0.0001	0.002	0.01	0.05	0.2	0.8	2
二硫化メチル	0.0003	0.003	0.009	0.03	0.1	0.3	3
トリメチルアミン	0.0001	0.001	0.005	0.02	0.07	0.2	3
アセトアルデヒド	0.002	0.01	0.05	0.1	0.5	1	10
プロピオンアルデヒド	0.002	0.02	0.05	0.1	0.5	1	10
ホルムアルデヒド	0.0003	0.003	0.009	0.03	0.08	0.3	2
イソブチルアルデヒド	0.0009	0.008	0.02	0.07	0.2	0.6	5
ホルムアルデヒド	0.0007	0.004	0.009	0.02	0.05	0.1	0.6
イソブチルアルデヒド	0.0002	0.001	0.003	0.006	0.01	0.03	0.2
イソブチロール	0.01	0.2	0.9	4	20	70	1000
酢酸エチル	0.3	1	3	7	20	40	200
メチルイソブチルケトン	0.2	0.7	1	3	6	10	50
トルエン	0.9	5	10	30	60	100	700
スチレン	0.03	0.2	0.4	0.8	2	4	20
キシレン	0.1	0.5	1	2	5	10	50
プロピオン酸	0.002	0.01	0.03	0.07	0.2	0.4	2
ホルム酸	0.00007	0.0004	0.001	0.002	0.006	0.02	0.09
ホルム吉草酸	0.0001	0.0005	0.0009	0.002	0.004	0.008	0.04
イソ吉草酸	0.00005	0.0004	0.001	0.004	0.01	0.03	0.3

表4-3 臭気強度と臭気指数の関係³⁾

臭気強度	臭気指数の範囲
2.5	10~15
3.0	12~18
3.5	14~21

題点が指摘されていることから、さらに詳細な検討を行ったうえで改良を加える必要がある。

そこで本章では、従来の悪臭評価・規制方法の問題点を把握し、悪臭苦情に対応した官能規制導入に向けての改善策を得るために、以下の内容について検討を行った。まず、過去10年間にわたって各地方自治体で測定された悪臭現場での三点比較式臭袋法によるデータを解析することによって、臭気指数、臭気強度、機器測定による物質濃度および悪臭苦情の有無などの各項目相互の関係について考察し、従来の物質濃度規制の問題点を把握するとともに、官能規制導入のための基礎資料を得ることを試みた。次に、環境モニター・アンケートによる調査データを用いて、住民意識の観点から様々な臭気の認容性に対する影響因子の把握を行った。そして、三点比較式臭袋法の測定方法に関して、問題点の抽出を行うとともにその改善について検討した。

第2節 悪臭現場における三点比較式臭袋法測定データの解析

4-2-1 本解析の概要

環境庁では、官能試験法に関する調査・研究を進める中で、昭和53年に三点比較式臭袋法についての試験方法を取りまとめた⁴⁾後、種々の悪臭発生現場での実態調査を行う^{5)~7)}とともに、自治体や民間団体による実測データを収集し、昭和57年には臭気濃度を用いて悪臭評価を行う場合の考え方および目標値を報告した⁸⁾。その後、環境庁は、さらに調査・研究を行う際の資料として活用するために、昭和57年11月10日付け環大特第167号「三点比較式臭袋法による測定データの報告方について(依頼)」によって、全国の自治体に三点比較式臭袋法による測定データの報告を依頼した。本節では、この依頼に基づいて昭和58年度から平成4年度までの10年間にわたって各自治体から環境庁に報告されたデータの解析を行った。解析内容は以下の通りである。まず、データ記入表の主要な項目についての基本集計を行い、次

改正によって、新たに三点比較式臭袋法による官能規制が導入されることになった。ここで、官能試験法による規制基準値も物質濃度規制の場合と同様に、上述の答申に基づいて表4-3に示す臭気強度2.5から3.5に対応する臭気指数(臭気濃度の常用対数を10倍したもの)として定められることになっている³⁾が、これらの2.5あるいは3.5という数値は、主に屋内での無臭室法による官能試験結果に基づいて設定されたものであり、実際の悪臭苦情の発生状況を反映しているかどうかは疑問である。また、三点比較式臭袋法の測定方法自体も十分確立したものとはいえず、種々の問

に、業種別の濃度測定物質と測定件数を集計することによって、機器分析による物質濃度規制の妥当性について検討した。また、物質濃度と臭気強度の関係について回帰分析を行い、物質濃度に係る規制基準値と実際の悪臭測定データから求めた規制基準相当値との関連性について検討した。さらに、濃度測定物質の閾希釈倍数と官能試験による臭気指数測定値との関係について回帰分析を行い、各々の評価手法による測定データの対応関係について考察した。また、環境（敷地境界）における測定データを用いて、臭気指数と臭気強度の関係について回帰分析を行い、両者の関連性や業種による特性の違いなどについて検討した。そして最後に、苦情「有り」と記入されていたデータの臭気強度および臭気指数を集計することによって、苦情が発生する臭気強度および臭気指数レベルについて検討した。

4-2-2 データの収集と整理

三点比較式臭袋法による測定データ記入表の項目は、表4-4に示す通りである。得られた測定データは、必要な項目についてはコード化を行った後、コンピュータに入力してデータファイルを作成した。データ加工および解析には、京都大学大型計算機センターの統計解析パッケージSAS (Statistical Analysis System) を用いた。

4-2-3 基本集計

4-2-3-1 解析内容および解析方法

ここでは、データ記入表の主要な項目についての基本集計を行った。すなわち、年度別、都道府県別、業種別および試料採取場所別のデータ数を集計するとともに、臭気の質をコード化し、業種別に記入内容の集計を行った。また、苦情「有り」と記入のあったものについては、被害範囲と被害内容を分類したうえで業種別の集計を行った。

4-2-3-2 解析結果および考察

各自治体から環境庁に報告された全データのうち、判読不能なものなどを除いたデータ数は17604件であり、これらに関して上記の解析を行った。図4-1は年度別のデータ数であるが、毎年千数百件の測定が行われている。ただし、測定件数は年を経るにしたがって徐々に減少する傾向にある。図4-2には都道府県別のデータ数を示す。これをみると、東京都が最も多く、全体の4分の1近く(24.7%)を占めている。また、それに続いて、神奈川県、大阪府、千葉県、愛知県の順に多くなっている。さらに、静岡県、埼玉県、北海道などでも多くの測定実績があるが、これらの自治体では、条例や指導要綱などに三点比較式臭袋法を採用し、独自の官能

表4-4 三点比較式臭袋法による測定データ記入表の項目および記入要領

項 目	記 入 要 領
所在地	
業種	別紙に示した業種より選び、該当する番号を記入すること。
臭気の質	腐敗臭、刺激臭、し尿臭等のように記入すること。
試料採取場所	発生源（悪臭発生施設わき、屋内等を明記）、排出口（煙突、換気扇、窓等を明記）、環境（敷地境界、敷地境界外等を明記）、脱臭装置の出入口（防・脱臭装置の入口、出口を明記）等、採取した場所を明確に示すこと。
採取年月日	
採取時の天候	環境において測定を行った場合のみ試料採取時における気象条件（晴雨の別、可能であれば風向、風速）を記入すること。
試験年月日 所要時間	
パネル数 経験者・未経験者の別	パネルの人数を記入すること。また、個々のパネルについて経験年数およびその間の通算試験回数を可能な範囲で記入すること。
臭気濃度	排出口測定の場合、パネルごとの臭気濃度（対数値）を示し、そのうちから、上下パネル最高最低値をカットし、残るパネルの平均値から算出したパネル全体の臭気濃度を記入すること。環境測定の場合は、パネル全体の臭気濃度のみを記入すること。
採取者の臭気強度	環境において採取された試料について採取者により判定された6段階臭気強度値を記入すること。
試料採取状況 ・排ガス温度 ・排ガス量 ・排出口高さ ・排出口口径等	排出口で採取した試料のうち、煙突において採取した試料についてのみ記入すること。また、「排出口高さ」欄では実煙突高を記入し、「排出口口径」欄では、吐出口断面が円形である場合には吐出口直径を、また、吐出口断面が矩形である場合には吐出口断面積を記入すること。
苦情の有無 ・有無 ・被害範囲 ・被害世帯数 ・被害内容	「被害範囲」欄は、被害の及ぶ範囲を事業場からの距離(km)で記入すること。また、「被害世帯数」欄は、悪臭の被害が及んでいると思われる地域内の世帯数を記入すること。
脱臭装置の有無 ・有無 ・装置の種類	装置の有無を明示し、「有」にあつては、装置の種類を別紙に示した装置より選び、該当する番号を記入すること。
臭気物質の種類・濃度	三点比較式臭袋法に供した試料について、機器分析を実施した場合にあつては、検出された物質名（悪臭防止法で定める物質以外の物質も含む）と濃度を記入すること。

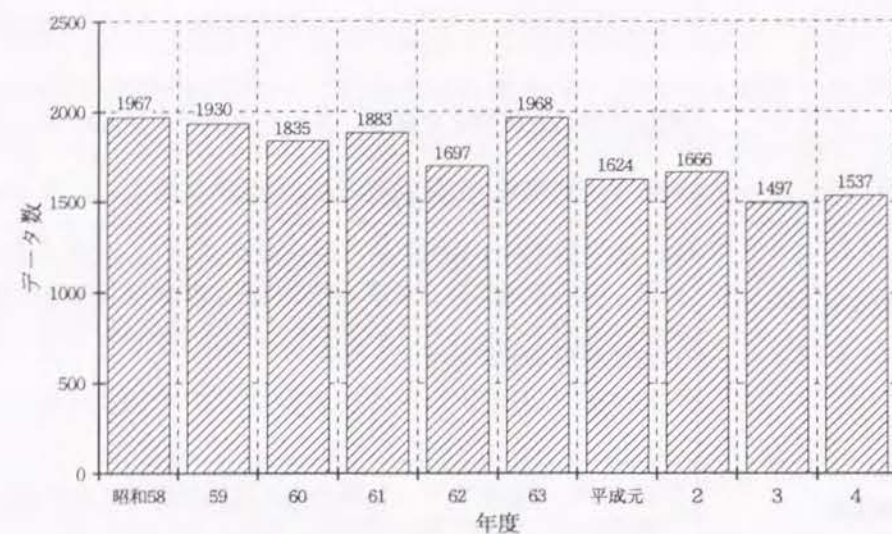


図4-1 年度別三点比較式臭袋法測定データ数

規制を行っている。

図4-3は、環境庁の分類による業種別のデータ数を試料採取場所の内訳を含めて示したものであるが、まず1.～6.の大分類でみると、5. その他の製造工場（4735件、26.9%）、4. 化学工場（3163件、18.0%）、6. サービス業・その他（2934件、16.7%）、3. 食料品製造工場（2188件、12.4%）、2. 飼料・肥料製造工場（1742件、9.9%）、1. 畜産農業（1516件、8.6%）の順に多くなっている。詳細な分類では、塗装工場が最も多く、以下、下水処理場、印刷工場、養豚業、魚腸骨処理場、養鶏業が続いている。試料採取場所の内訳をみると、養豚業や養鶏業などの畜産農業および魚腸骨処理場や獣骨処理場などの飼料・肥料製造工場では環境（敷地境界）での測定比率が大きく、塗装工場や印刷工場をはじめとする各種製造工場では排出口および脱臭装置入口・出口でのデータが多い。また、下水処理場やし尿処理場では、環境（敷地境界）とともに脱臭装置入口・出口での測定が多くなっている。このような試料採取場所の内訳の相違は、各業種の悪臭発生施設の構造および悪臭の排出状況を反映していると考えられる。すなわち、畜産農業では煙突などの排出口よりも建物全体からの悪臭の放出が多いために環境（敷地境界）での測定数が多く、製造工場などでは種々のプロセスから発生する臭気を脱臭装置で処理してから排出することが多いために排出口および脱臭装置入口・出口での測定比率が大きくなっていると考えられる。

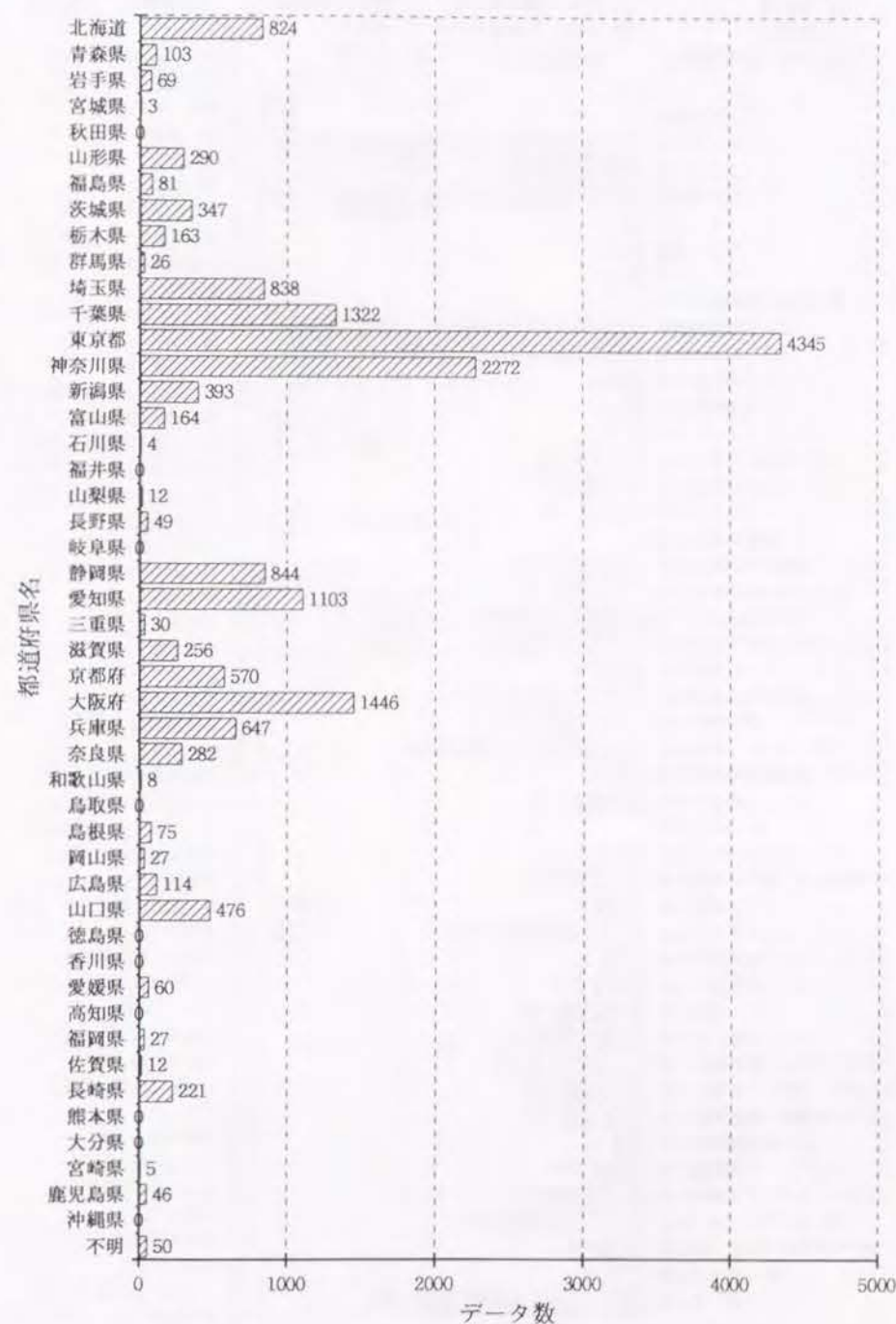


図4-2 都道府県別三点比較式臭袋法測定データ数

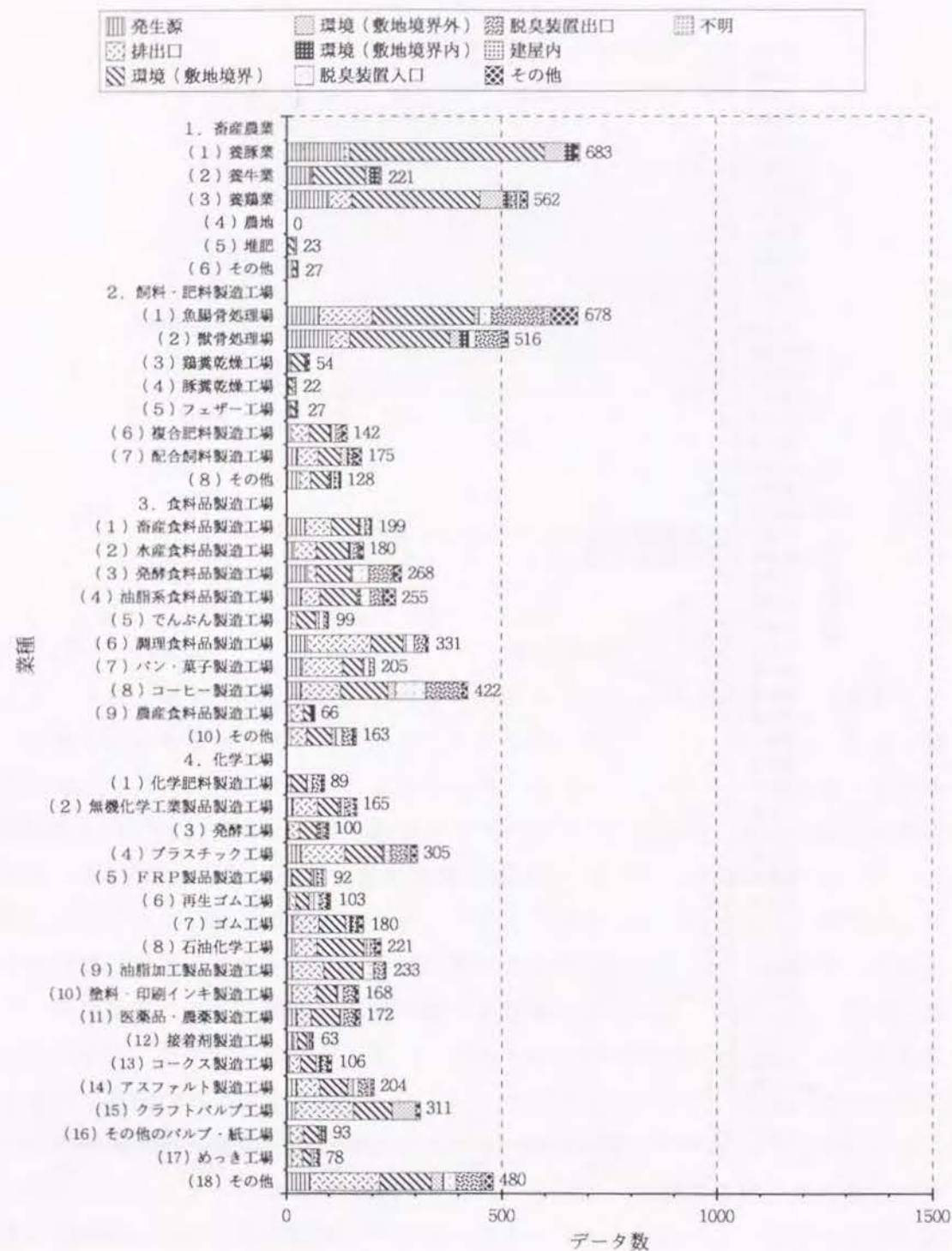


図4-3 業種別三点比較式臭袋法測定データ数 (その1)

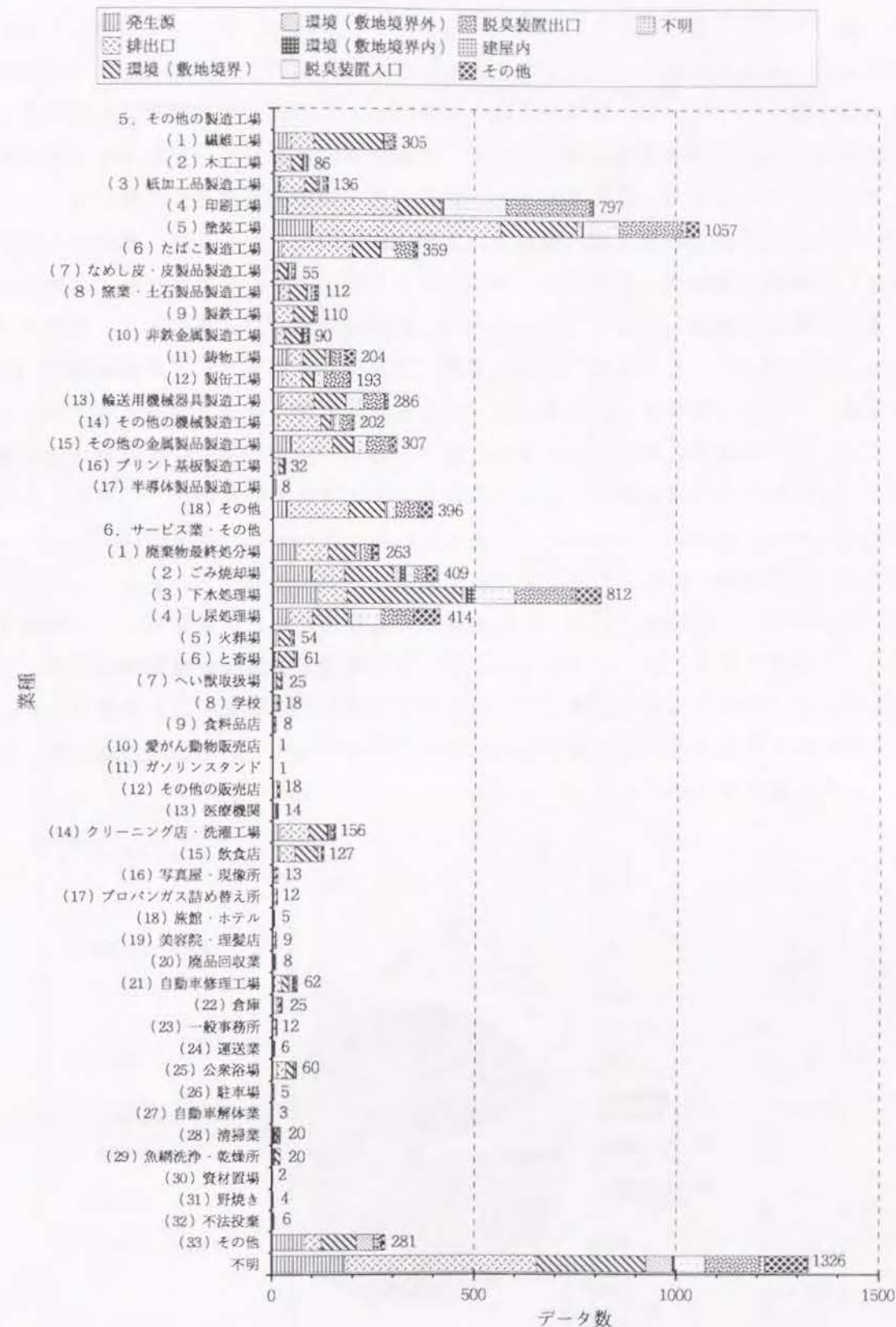


図4-3 (その2)

図4-4には試料採取場所別のデータ数を示すが、環境（敷地境界）、排出口、発生源の順に多くなっている。ただし、生データにおいて、図4-4に示した分類ではなく、具体的な場所として記入されていたものについては、データ入力の段階で適宜分類を行っている。表4-5は、排出口および環境（敷地境界）における臭気の質の記入内容を業種別に集計し、データ数が5件以上であった項目を上位5位まで示したものである。これをみると、臭気の質を表現する言葉は非常に多く、にの系の系統的分類の困難さを示唆しているが、表現の仕方としては、業種名に直接関連したもの（畜産臭、化製場臭、クリーニング臭など）、生産プロセスの原材料あるいは製品に関連したもの（コーヒー臭、有機溶剤臭、ゴム臭など）、物質名を特定したもの（アンモニア臭、硫化水素臭、フェノール臭など）、臭気特性・性状を表したもの（腐敗臭、刺激臭、こげ臭など）に大きく分類できると考えられる。ここで、特に刺激臭に注目してみると、表4-5中の排出口あるいは環境（敷地境界）いずれかの臭気質の表現として「刺激臭」が示されているのは、73業種のうち35業種に及び、さらに、刺激臭として表現されることの多い「有機溶剤」、「アンモニア」、「塩素」の記述があるものも含めると48業種にのぼる。そもそも“刺激性”の感覚は、一般的な“にの”の感覚を司る嗅神経系とは異なり、三叉神経系によって知覚される⁹⁾が、上述のようにかなりの業種で刺激性物質が排出され、臭気の強度や不快性に大きく影響していると考えられることから、三叉神経系において受容される刺激性の感覚的特性を把握することが不可欠である。この点に関しては、さらに第5章で詳述する。

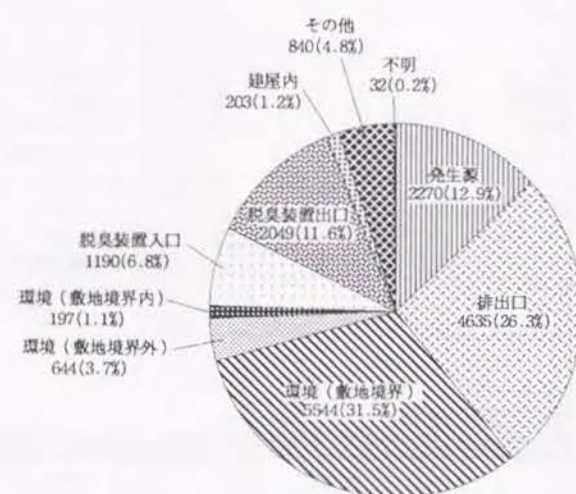


図4-4 試料採取場所別三点比較式臭袋法測定データ数

表4-5 業種別の臭気質（その1）
データ数5件以上であるものを上位5位まで示す。

業 種	臭 気 の 質	
	排出口 (データ数)(割合:%)	環境(敷地境界) (データ数)(割合:%)
1. 畜産農業		
(1) 養豚業	①豚糞 10(83.3) 全データ数 12	①糞尿 187(44.1) ②豚舎 125(29.5) ③豚糞 51(12.0) ④アンモニア 11(2.6) ⑤畜産 10(2.4) 全データ数 424
(2) 養牛業		①糞尿 41(34.7) ②腐敗 17(14.4) ③牛舎 13(11.0) ④牛糞 13(11.0) ⑤刺臭 8(6.8) 全データ数 118
(3) 養鶏業	①糞尿 24(48.0) ②鶏糞 16(32.0) 全データ数 50	①鶏糞 131(45.3) ②糞尿 82(28.4) ③刺臭 36(12.5) ④畜産 10(3.5) ⑤堆肥 5(1.7) 全データ数 289
(5) 堆肥		①魚介 5(35.7) 全データ数 14
2. 飼料・肥料製造工場		
(1) 魚鱗骨処理場	①魚粕 23(20.0) ②刺臭 20(17.4) ③フィッシュソリュブル 11(9.6) ④腐敗 10(8.7) ⑤魚介 8(7.0) 全データ数 115	①化製場 68(30.6) ②腐敗 21(9.5) ③肥料 20(9.0) ④飼料 17(7.7) ⑤ソリュブル 16(7.2) 全データ数 222
(2) 軟骨処理場	①腐敗 15(35.7) ②油脂 7(16.7) ③化製場 5(11.9) 全データ数 42	①腐敗 79(40.3) ②化製場 54(27.6) ③油脂 8(4.1) ④塩こげ 6(3.1) 全データ数 196
(3) 鶏糞乾燥工場		①刺臭 16(59.3) 全データ数 27
(4) 豚糞乾燥工場		①糞尿 6(60.0) 全データ数 10
(6) 複合肥料製造工場	①肥料 11(26.2) ②こげ 8(19.0) ③飼料 6(14.3) ④アンモニア 5(11.9) 全データ数 42	①肥料 13(27.1) ②発酵 9(18.7) ③飼料 7(14.6) 全データ数 48
(7) 配合飼料製造工場	①穀物 9(19.6) ①こげ 9(19.6) ③飼料 8(17.4) ④もろみ 6(13.0) ⑤腐敗 5(10.9) 全データ数 46	①飼料 15(30.0) ②こげ 9(18.0) ③魚介 7(14.0) ④穀物 7(14.0) 全データ数 50
(8) その他	①こげ 8(36.4) ②汚泥 5(22.7) 全データ数 22	①腐敗 12(31.6) ②かつおぶし 9(23.7) 全データ数 38
3. 食料品製造工場		
(1) 畜産食料品製造工場	①くん煙 18(30.0) ②廃水処理 7(11.7) ③汚泥 5(8.3) 全データ数 60	①汚泥 10(18.2) ②食品 7(12.7) ③腐敗 6(10.9) ④酸臭化合物 5(9.1) 全データ数 55
(2) 水産食料品製造工場	①腐敗 8(16.3) ②魚介 6(12.2) ②揚げもの 6(12.2) 全データ数 49	①魚介 25(34.7) ②油 10(13.9) ③アミン 7(9.7) ④刺臭 5(6.9) 全データ数 72
(3) 発酵食料品製造工場		①発酵 35(46.7) ②穀物 11(14.7) 全データ数 75

表4-5 (その2)

業 種	臭 気 の 質			
	排出口	(データ数)(割合:%)	環境(敷地境界)	(データ数)(割合:%)
(4) 油脂系食品製造工場	①油脂 ②食品 ③油	16 (38.1) 9 (21.4) 5 (11.9)	①穀物 ②食品 ③油 ④油脂 ⑤大豆	17 (21.3) 15 (18.8) 13 (16.3) 8 (10.0) 6 (7.5)
	全データ数	42	全データ数	80
(5) でんぷん製造工場			①汚泥 ②穀物 ③発酵 ④腐敗	10 (25.6) 6 (15.4) 6 (15.4) 5 (12.8)
			全データ数	39
(6) 調理食品製造工場	①食品 ②パン ③菓子 ④スープ ⑤こげ	50 (33.8) 17 (11.5) 14 (9.5) 13 (8.8) 9 (6.1)	①食品 ②腐敗 ③ニンニク ④菓子	26 (35.1) 8 (10.8) 6 (8.1) 5 (6.8)
	全データ数	148	全データ数	74
(7) パン・菓子製造工場	①食品 ②菓子 ③発酵 ④甘味 ⑤パン	28 (29.5) 24 (25.3) 9 (9.5) 8 (8.4) 6 (6.3)	①食品 ②菓子 ③カカオ ④甘味	15 (34.1) 7 (15.9) 6 (13.6) 5 (11.4)
	全データ数	95	全データ数	44
(8) コーヒー製造工場	①こげ ②コーヒー	66 (71.0) 20 (21.5)	①コーヒー ②こげ ③焙煎 ④蛋白質	80 (72.7) 11 (10.0) 7 (6.4) 5 (4.5)
	全データ数	93	全データ数	110
(9) 農産食品製造工場	①ニンニク ②食品	9 (32.1) 8 (28.6)		
	全データ数	28		
(10) その他	①腐敗	7 (19.4)	①腐敗 ②香料 ③肉泥 ④醬油 ⑤穀物	8 (13.6) 7 (11.9) 7 (11.9) 6 (10.2) 5 (8.5)
	全データ数	36	全データ数	59
4. 化学工場				
(1) 化学肥料製造工場			①こげ ②肥料 ③アンモニア	9 (25.0) 8 (22.2) 5 (13.9)
			全データ数	36
(2) 無機化学工業製品製造工場	①硫黄化合物 ①刺激 ③有機溶剤	10 (17.5) 10 (17.5) 8 (14.0)	①薬品 ①硫黄化合物	6 (14.0) 6 (14.0)
	全データ数	57	全データ数	43
(3) 発酵工場	①薬品	5 (26.3)	①有機溶剤 ①薬品 ③刺激	7 (17.9) 7 (17.9) 6 (15.4)
	全データ数	19	全データ数	39
(4) プラスチック工場	①樹脂 ②有機溶剤 ③プラスチック ④刺激	23 (24.5) 22 (23.4) 12 (12.8) 11 (11.7)	①有機溶剤 ②樹脂 ③プラスチック ④刺激	18 (21.4) 13 (15.5) 10 (11.9) 7 (8.3)
	全データ数	94	全データ数	84
(5) FRP製品製造工場			①刺激 ②スチレン ③有機溶剤 ④樹脂	14 (33.3) 13 (31.0) 7 (16.7) 5 (11.9)
			全データ数	42
(6) 再生ゴム工場	①刺激 ②ゴム	8 (57.1) 6 (42.9)	①ゴム	26 (89.7)
	全データ数	14	全データ数	29
(7) ゴム工場	①ゴム ②ゴムこげ	40 (74.1) 9 (16.7)	①ゴム ②有機溶剤 ②刺激	41 (67.2) 5 (8.2) 5 (8.2)
	全データ数	54	全データ数	61

表4-5 (その3)

業 種	臭 気 の 質			
	排出口	(データ数)(割合:%)	環境(敷地境界)	(データ数)(割合:%)
(8) 石油化学工場	①薬品 ②油脂	14 (29.2) 5 (10.4)	①有機溶剤 ②樹脂 ③油 ③薬品 ⑤タール	24 (23.3) 10 (9.7) 8 (7.8) 8 (7.8) 6 (5.8)
	全データ数	48	全データ数	103
(9) 油脂加工製品製造工場	①洗剤 ②有機溶剤 ②油脂 ④芳香	14 (19.7) 13 (18.3) 13 (18.3) 8 (11.3)	①油脂 ②刺激 ③有機溶剤 ④薬品 ⑤芳香	27 (34.2) 16 (20.3) 9 (11.4) 8 (10.1) 6 (7.6)
	全データ数	71	全データ数	79
(10) 塗料・印刷インキ製造工場	①有機溶剤 ②腐敗 ③刺激 ④薬品 ④溶剤	21 (36.8) 7 (12.3) 7 (12.3) 5 (8.8) 5 (8.8)	①有機溶剤 ②薬品	20 (42.6) 11 (23.4)
	全データ数	57	全データ数	47
(11) 医薬品・農薬製造工場	①薬品 ②臭気	9 (26.5) 5 (14.7)	①薬品 ②刺激 ③有機溶剤	28 (44.4) 11 (17.5) 5 (7.9)
	全データ数	34	全データ数	63
(12) 接着剤製造工場			①薬品 全データ数	6 (28.6) 21
(13) コークス製造工場	①刺激	5 (22.7)	①有機溶剤 ②スチレン ②ゴム ②芳香	11 (31.4) 5 (14.3) 5 (14.3) 5 (14.3)
	全データ数	22	全データ数	35
(14) アスファルト製造工場	①アスファルト ②ゴム ③有機溶剤	24 (46.2) 15 (28.8) 8 (15.4)	①アスファルト ②ゴム ③こげ ③刺激 ⑤タール	20 (31.3) 15 (23.4) 8 (12.5) 8 (12.5) 5 (7.8)
	全データ数	52	全データ数	64
(15) クラフトパルプ工場	①クラフトパルプ	113 (95.0)	①クラフトパルプ	75 (82.4)
	全データ数	119	全データ数	91
(16) その他のパルプ・紙工場	①刺激 ②こげ	11 (36.7) 8 (26.7)	①クラフトパルプ ②こげ	16 (47.1) 5 (14.7)
	全データ数	30	全データ数	34
(17) めっき工場	①刺激 ②メッキ	8 (40.0) 5 (25.0)	①アスファルト	6 (35.3)
	全データ数	20	全データ数	17
(18) その他	①クラフトパルプ ②付着剤 ③可塑剤 ④有機溶剤 ⑤薬品	38 (27.5) 17 (12.3) 13 (9.4) 11 (8.0) 9 (6.5)	①クラフトパルプ ②有機溶剤 ③薬品 ④刺激 ⑤香料	23 (19.7) 16 (13.7) 15 (12.8) 8 (6.8) 7 (6.0)
	全データ数	138	全データ数	117
5. その他の製造工場				
(1) 繊維工場	①有機溶剤 ②刺激 ③硫化水素 ④酸味	14 (25.9) 7 (13.0) 6 (11.1) 5 (9.3)	①染色 ②腐敗 ③毛焼 ④硫化水素 ⑤刺激	23 (15.0) 19 (12.4) 17 (11.1) 11 (7.2) 10 (6.5)
	全データ数	54	全データ数	153
(2) 木工工場	①焼却 ②有機溶剤 ③こみ ④塵埃	14 (35.9) 12 (30.8) 7 (17.9) 5 (12.8)	①刺激 ②有機溶剤 ③塵埃	10 (38.5) 7 (26.9) 5 (19.2)
	全データ数	39	全データ数	26
(3) 紙加工品製造工場	①有機溶剤 ②樹脂燃焼	30 (52.6) 13 (22.8)	①有機溶剤	18 (60.0)
	全データ数	57	全データ数	30
(4) 印刷工場	①有機溶剤 ②こげ ③印刷 ④インク ④刺激	189 (71.1) 33 (12.4) 14 (5.3) 9 (3.4) 9 (3.4)	①有機溶剤 ②印刷 ②こげ ④刺激	56 (59.6) 7 (7.4) 7 (7.4) 5 (5.3)
	全データ数	266	全データ数	94

表4-5 (その4)

業 種	臭 気 の 質			
	排出口 (データ数)(割合:%)		環境(敷地境界) (データ数)(割合:%)	
(5) 塗装工場	①有機溶剤 273 (58.7) ②塗料 54 (11.6) ③刺激 50 (10.8) ④塗料 20 (4.3) ⑤インク 14 (3.0) 全データ数 465		①有機溶剤 142 (77.6) ②塗料 11 (6.0) ③こげ 9 (4.9) ④刺激 7 (3.8) ⑤塗料 6 (3.3) 全データ数 183	
(6) たばこ製造工場	①有機溶剤 91 (52.9) ②塗料 24 (14.0) ③有機物 14 (8.1) ④塗料 7 (4.1) ⑤刺激 5 (2.9) 全データ数 172		①有機溶剤 40 (67.8) ②タバコ 9 (15.3) 全データ数 59	
(7) なめし皮・皮革製品製造工場			①なめし 10 (45.5) 全データ数 22	
(8) 窯業・土石製品製造工場	①有機溶剤 7 (28.0) ②腐敗 6 (24.0) 全データ数 25			
(9) 製鉄工場	①有機溶剤 22 (46.8) ②塗料 6 (12.8) ③焼付 6 (12.8) 全データ数 47		①有機溶剤 9 (30.0) ②刺激 7 (23.3) 全データ数 30	
(10) 非鉄金属製造工場	①刺激 9 (42.9) 全データ数 21		①コークス 7 (17.9) ①刺激 7 (17.9) 全データ数 39	
(11) 鋳物工場	①鋳造 21 (60.0) 全データ数 35		①鋳物 18 (33.3) ②こげ 9 (16.7) ③フェノール 7 (13.0) ④樹脂 5 (9.3) ④刺激 5 (9.3) 全データ数 54	
(12) 製缶工場	①有機溶剤 26 (54.2) 全データ数 48		①有機溶剤 9 (33.3) ②こげ 6 (22.2) ③クレゾール 5 (18.5) 全データ数 27	
(13) 輸送用機械器具製造工場	①刺激 18 (22.5) ②有機溶剤 12 (15.0) ③油 7 (8.8) ④油こげ 7 (8.8) ⑤こげ 7 (8.8) 全データ数 80		①有機溶剤 19 (28.4) ②鋳造 13 (19.4) ③刺激 12 (17.9) ④かび 6 (9.0) ⑤塗料 5 (7.5) 全データ数 67	
(14) その他の機械製造工場	①有機溶剤 33 (34.4) ②刺激 13 (13.5) ③塗料 12 (12.5) ④薬品 11 (11.5) ⑤焼焦 8 (8.3) 全データ数 96		①有機溶剤 11 (44.0) 全データ数 25	
(15) その他の金属製品製造工場	①有機溶剤 51 (50.0) ②ろう 13 (12.7) ③塗料 8 (7.8) ④刺激 7 (6.9) 全データ数 102		①有機溶剤 21 (43.8) ②芳香 6 (12.5) 全データ数 48	
(16) プリント基板製造工場			①刺激 6 (50.0) ②有機溶剤 5 (41.7) 全データ数 12	
(18) その他	①有機溶剤 45 (29.4) ②ろう 16 (10.5) ③こげ 15 (9.8) ④刺激 15 (9.8) ⑤木材 9 (5.9) 全データ数 153		①有機溶剤 26 (30.2) ②刺激 16 (18.6) ③こげ 7 (8.1) ④薬品 6 (7.0) ⑤塗料 5 (5.8) 全データ数 86	
6. サービス業・その他				
(1) 廃棄物最終処分場	①ごみ 42 (53.8) ②刺激 8 (10.3) ③薬品 6 (7.7) ④硫黄化合物 5 (6.4) 全データ数 78		①ごみ 6 (10.5) ①汚泥 6 (10.5) ①焼却 6 (10.5) ①腐敗 6 (10.5) 全データ数 57	

表4-5 (その5)

業 種	臭 気 の 質			
	排出口 (データ数)(割合:%)		環境(敷地境界) (データ数)(割合:%)	
(2) ごみ焼却場	①下水 12 (16.4) ②焼却 11 (15.1) ③焼却 9 (12.3) ④塩素 7 (9.6) ④こげ 7 (9.6) 全データ数 73		①ごみ 31 (36.0) ②焼却 8 (9.3) ③下水 7 (8.1) ④汚泥 6 (7.0) ④腐敗 6 (7.0) 全データ数 86	
(3) 下水処理場	①し尿 20 (30.8) ②下水 17 (26.2) ③腐敗 12 (18.5) ④こげ 6 (9.2) 全データ数 65		①下水 68 (33.3) ②し尿 49 (24.0) ③汚泥 34 (16.7) ④曝気槽 12 (5.9) ④腐敗 12 (5.9) 全データ数 204	
(4) し尿処理場	①し尿 46 (83.6) 全データ数 55		①し尿 66 (81.5) 全データ数 81	
(5) 火葬場			①火葬 14 (48.3) ②し尿 6 (20.7) 全データ数 29	
(6) と畜場	①腐敗 7 (100) 全データ数 7		①し尿 16 (42.1) ②腐敗 14 (36.8) 全データ数 38	
(7) へい獣取扱場			①腐敗 5 (50.0) 全データ数 10	
(8) 学校	①し尿 5 (62.5) 全データ数 8			
(14) クリーニング店・洗濯工場	①有機溶剤 26 (38.2) ②クリーニング 18 (26.5) ③テトラクロロエチレン 7 (10.3) 全データ数 68		①クリーニング 14 (32.6) ②有機溶剤 10 (23.3) 全データ数 43	
(15) 飲食店	①こげ 12 (32.4) ②有機溶剤 8 (21.6) ③調理 7 (18.9) ④焼肉 5 (13.5) 全データ数 37		①こげ 26 (51.0) ②調理 5 (9.8) 全データ数 51	
(17) プロパンガス詰め替え所	①メルカプタン 7 (100) 全データ数 7			
(19) 美容院・理髪店	①刺激 7 (100) 全データ数 7			
(21) 自動車修理工場	①有機溶剤 8 (53.3) 全データ数 15		①有機溶剤 14 (100) 全データ数 14	
(23) 一般事務所	①有機溶剤 5 (71.4) 全データ数 7			
(25) 公衆浴場	①有機溶剤 9 (47.4) 全データ数 19		①臭気 6 (37.5) 全データ数 16	
(29) 魚網洗浄・乾燥所			①腐敗 13 (92.9) 全データ数 14	
(33) その他	①刺激 20 (50.0) 全データ数 40		①刺激 13 (15.1) ②臭気 10 (11.6) ③有機溶剤 9 (10.5) ④汚泥 9 (10.5) ⑤ごみ 6 (7.0) 全データ数 86	

図4-5は、苦情「有り」と記入のあったものについての被害範囲の内訳をデータ数が10以上であった業種について示したものである。ほとんどの業種では1km未満が大部分となっているが、魚腸骨処理場や獣骨処理場などの飼料・肥料製造工場および養鶏業では、数kmであるものもかなり存在する。これは、排出される臭気物質が、長距離伝播して濃度が低くなっても感覚的強度としては減衰しにくいという特性を備えているためであると考えられる。また、クラフトパルプ工場は1km未満であるデータの割合が最も小さく、特徴的な傾向を示しているが、概して排出口が高く、遠距離まで拡散しやすいことが影響していると考えられる。図4-6には、苦情「有り」と記入のあったものについての被害内容（複数回答有り）の回答割合をデータ数が10以上であった業種について示す。ほとんどの業種で「悪臭・不快感」が最も多いが、畜産農業や飼料・肥料製造工場では「吐き気・むかつき」、「食欲不振」、「頭痛」に対してもかなりの回答がみられる。

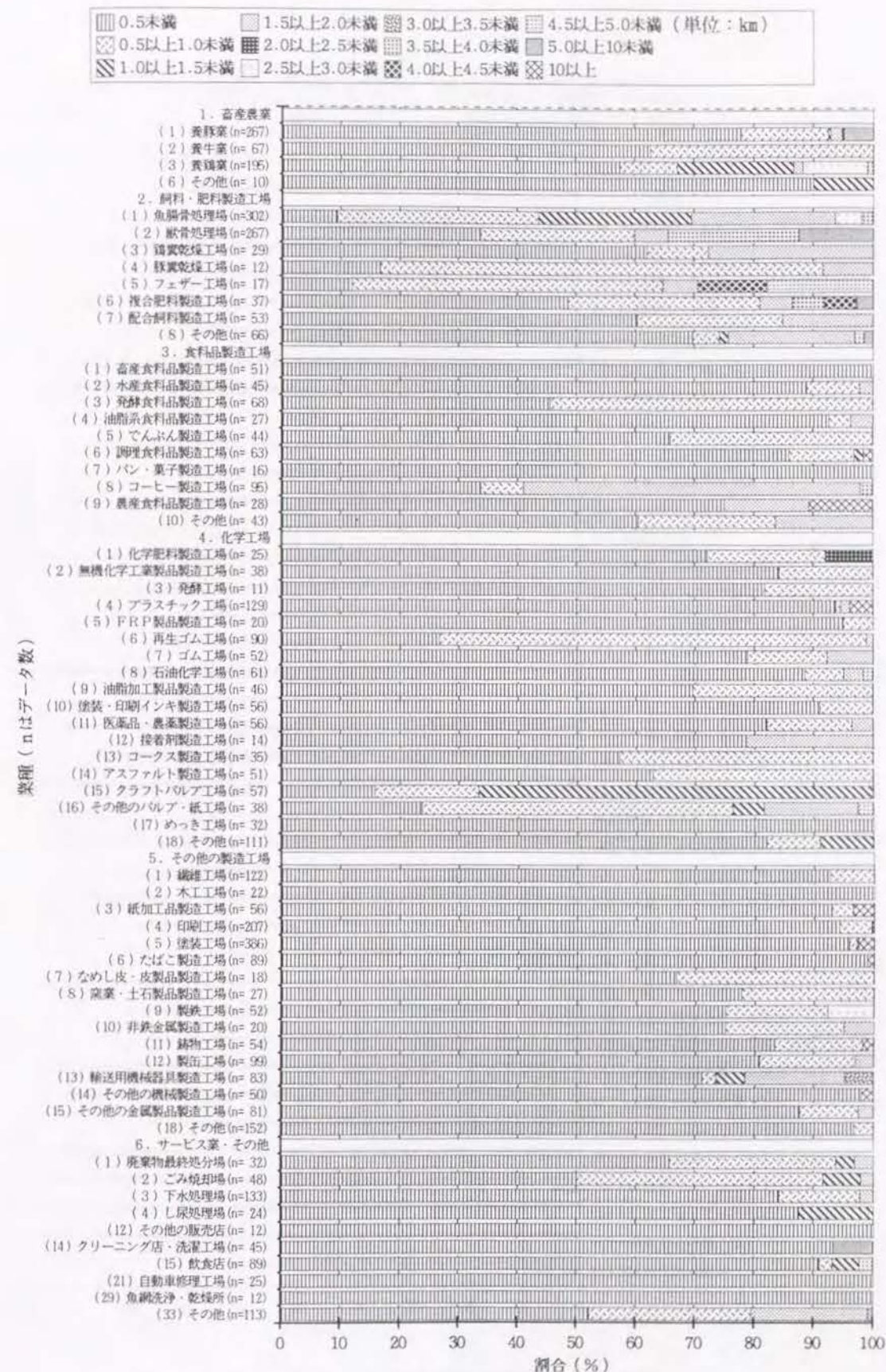


図4-5 業種別被害範囲
データ数10以上であった業種について示す。

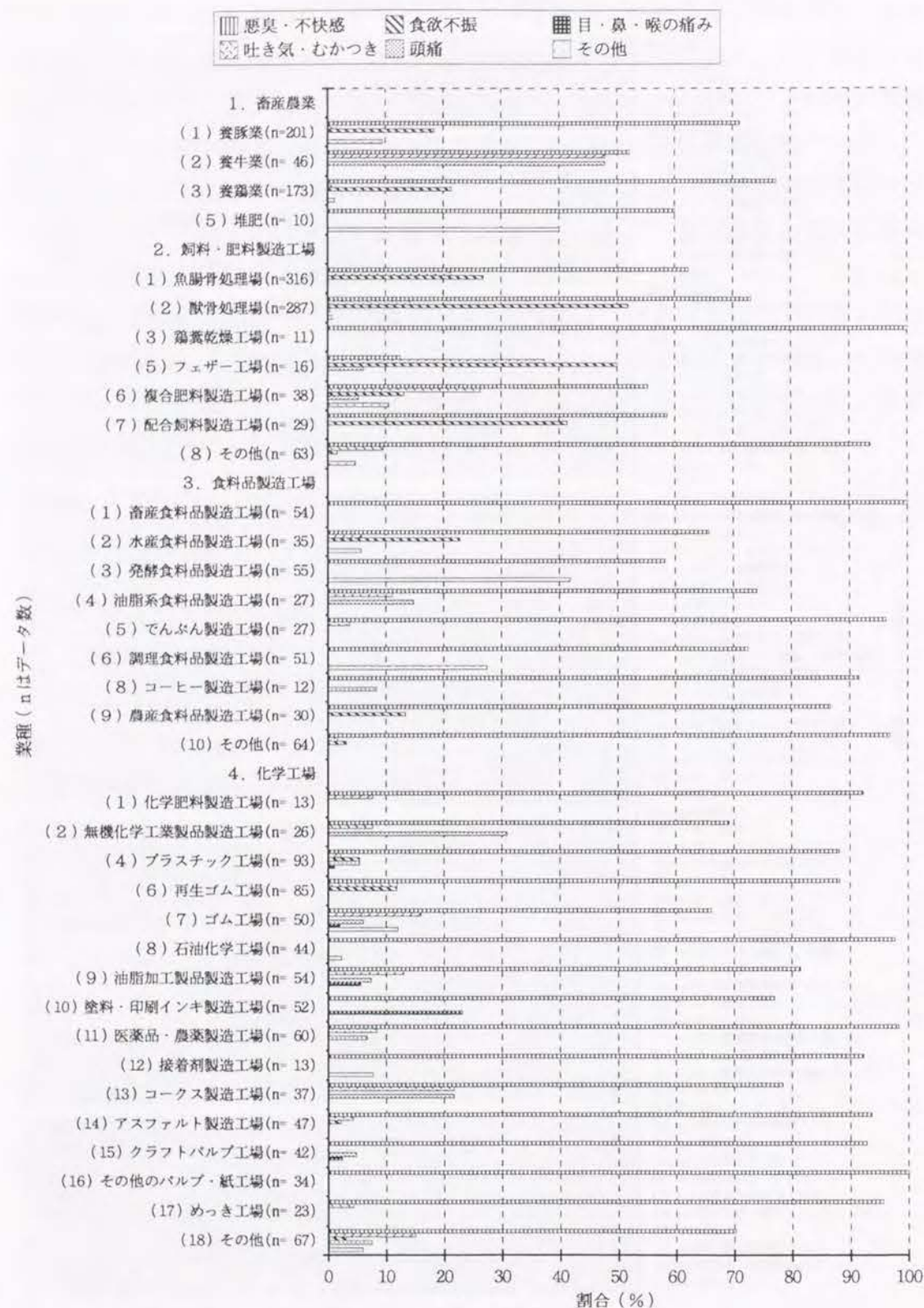


図4-6 業種別被害内容(その1)
 データ数10以上であった業種について示す。
 複数回答有り。

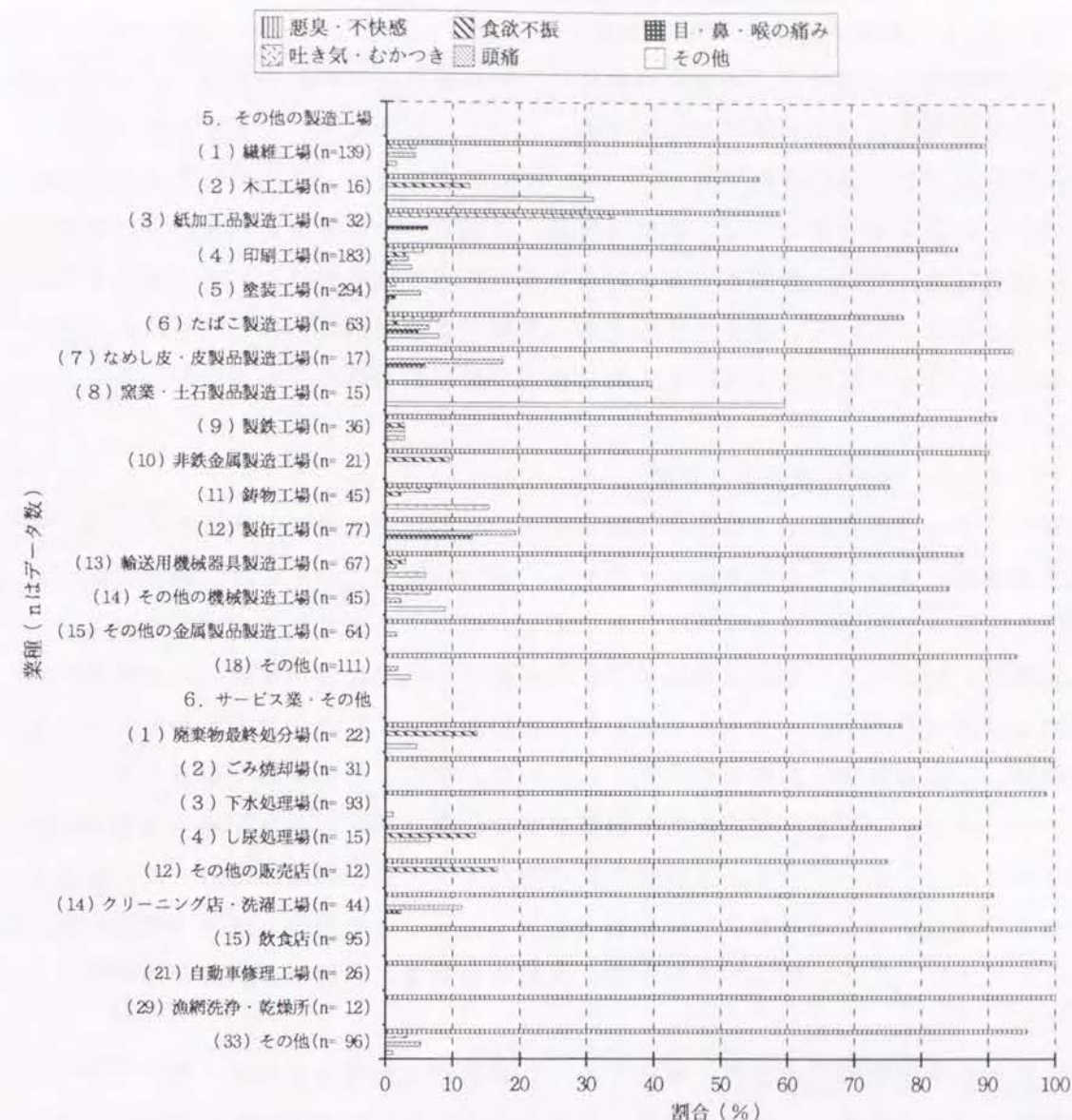


図4-6 (その2)

4-2-4 機器による物質濃度測定

4-2-4-1 解析内容および解析方法

現行の悪臭防止法では、指定悪臭物質に対する濃度規制が採用されているが、従来から物質濃度の測定のみで様々な悪臭に対して的確な対処ができるかどうかが大きな問題点として指摘されてきた。一方、今回の解析に用いた三点比較式臭袋法測定データの記入表においては、物質濃度測定に関する項目があり、機器分析を実施した場合にあっては、物質名（指定悪臭物質以外の物質も含む）とその濃度を報告することになっている。そこで本項では、業種別の濃度測定物質と測定件数を集計することによって、機器分析による物質濃度規制の妥当性について検討した。

4-2-4-2 解析結果および考察

表4-6は、排出口および環境（敷地境界）における濃度測定物質とその測定件数を業種別にまとめたものである。ただし、未規制物質については、測定件数が5件以上であったもののみを示している。まず、指定悪臭物質の測定状況をみると、畜産農業、飼料・肥料製造工場および食料品製造工場では硫化水素などの硫黄化合物およびアンモニア、トリメチルアミン、脂肪族カルボン酸の測定数が多く、下水処理場、し尿処理場も同様の傾向を示している。また、化学工場や製造工場ではトルエン、キシレンなど有機溶剤系の物質が多く、クラフトパルプ工場では硫黄化合物がほとんどを占めている。未規制物質に関しては、畜産農業、飼料・肥料製造工場および食料品製造工場では酢酸の測定が多く、その他の業種ではアルコール類、アルデヒド類、ケトン類、エステル類、塩素化合物など、種々の物質が測定されている。

これらの未規制物質を含め、報告のあった濃度測定物質をすべてまとめて示したのが表4-7である。これをみると、濃度測定が行われたのは98物質であり、指定悪臭物質を除いた未規制物質は76物質にのぼる。本解析では、実際に濃度測定が行われた物質についてのみ集計したが、未規制物質で悪臭の原因であると考えられているものは100物質以上存在する¹¹⁾といわれており、現行の物質濃度規制ですべての悪臭公害に対処することは事実上不可能である。すなわち、現在の指定悪臭物質では評価できない悪臭を対象として、今後さらに指定悪臭物質を追加するとしても、各物質について測定技術を確立するとともに、物質濃度と感覚的応答との対応関係を把握しなければならない。また、各物質に係る悪臭公害の割合が必ずしも大きくないために労力の割には改善の効果は少なく、行政的にみても物質濃度のみによる悪臭規制には限界がある。したがって、あらゆる業種からの悪臭を人間の感覚に直結させて包括的に評価できる感覚的測定を積極的に導入する必要があると考えられる。

表4-6 業種別の濃度測定物質と測定件数（その1）

注①「場所」は試料採取場所のことであり、「排」は排出口、「環」は環境（敷地境界）を示す。

②「指定悪臭物質」欄の記号はそれぞれ以下の物質を示し、表中の数字は測定件数を示す。

A:アセチル B:アセトアルデヒド C:硫化水素 D:硫化メチル E:二硫化メチル F:メチルメルカプタン G:メチルエチルケトン H:アセトニトリル
I:n-ブタン J:i-ブタン K:n-ブチルアルコール L:i-ブチルアルコール M:フェニルアルコール N:酢酸メチル O:酢酸エチル P:酢酸
Q:酢酸 n-ブチル R:酢酸 i-ブチル S:酢酸 n-ペンチル T:酢酸 i-ペンチル U:n-ヘキサノール V:i-ヘキサノール

③「未規制物質」欄には、測定件数が5件以上であったものの物質名と測定件数を示す。

業 種	場所	指 定 悪 臭 物 質																				未 規 制 物 質		
		A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T		U	V
1. 畜産農業																								
(1) 養豚業	排 環	1 140	1 72	1 92	1 55	1 51	56	11										4		40	3 40	2 41	31	酢酸(14)
(2) 養牛業	環	48	25	33	29	25	18	4												32	31	24	26	
(3) 養鶏業	排 環	6 129	2 88	4 119	5 36	1 29	5 79	3 37										2 9		2 37	2 26	1 13	2 20	酢酸(16)
(4) 農地																								
(5) 堆肥	環	4																						
(6) その他	排 環	2 6	2 1	2 1	2 1	2 1	2 4																	
2. 飼料・肥料製造工場																								
(1) 魚膳骨処理場	排 環	21 81	6 47	10 63	4 35	3 36	17 82	2 16												20	6 23	11	11	酢酸(21)
(2) 獣骨処理場	排 環	19 98	13 60	20 88	11 46	13 47	15 60	1 16										5		1 15	1 19	1 9	1 10	酢酸(13)
(3) 鶏糞乾燥工場	環	7	9	9	9	7	3	4																
(4) 豚糞乾燥工場	環	1		1																				
(5) フェザー工場	排 環	1 1		1																				
(6) 複合肥料製造工場	排 環	8 4	3 3	3 3	4 3	3 3	3 2																	
(7) 配合飼料製造工場	排 環	7 13	9 12	8 13	8 12	8 10	9 13	2 8										2 4		4	5	4	3	
(8) その他	排 環	9 6	6 3	4 3	5 5	6 3		3																
3. 食料品製造工場																								
(1) 畜産食料品製造工場	排 環	2 22	3 6	3 11	3 6	3 6	1 12	2 4	2 1	1 1	1 1	1 1	1 1							1 7	2 3	2 3	2 1	酢酸(9)
(2) 水産食料品製造工場	排 環	2 3	3 4	4 5	2 5	3 4	1 3	1 1										1		3	2	2	2	
(3) 発酵食料品製造工場	排 環	5 15	6 4	6 9	6 4	5 4	1 9	1 9										1		6	4	2	4	酢酸(8)
(4) 油脂系食料品製造工場	排 環	5 10	7 15	7 25	6 13	6 13	6 3	6 1										1		1 13	1 17	1 17	1 17	
(5) でんぷん製造工場	排 環	2 14	1 2	1 2	2 2	2 2	8	2										2		7	3	3	1	酢酸(5)
(6) 調理食料品製造工場	排 環	13 5	6 4	9 5	10 4	4 4	4																	
(7) パン・菓子製造工場	排 環	4 1	4 1	4 1	4 1	2 2	4 1	4 1	4 1	4 1										4 1	4 1	4 1	4 1	
(8) コーヒー製造工場	排 環	1 1	11 10	15 10	11 10	15 10	1	1										1		5	5	5	5	
(9) 農産食料品製造工場	排 環	5 5	5 5	5 5	5 5	5 1	1											1		6	5	4	5	
(10) その他	排 環	2 6	2 3	3 2	1 2	1 2	2 4	2										2		2	2	2	2	
4. 化学工場																								
(1) 化学肥料製造工場	排 環	1 2	1 2	2 5	1 3	1 2												1						
(2) 無機化学工業製品製造工場	排 環	5 5	9 6	11 7	10 5	8 5		4 1										1 3				1 1	1 1	クロロホルム(6),ジクロロメタン(6),四塩化炭素(6),三塩化窒素(5),二塩化炭素(5)
(3) 発酵工場	排 環	3 5	4 3	5 5	5 5	4 2	1 3	3 3										2 2	2					
(4) プラスチック工場	排 環	1 2	1 4	1 4	1 4	1 4	1 4	1										1 1	4 3	1		1	1	

表4-6 (その2)

業 種	場所	指定悪臭物質																						未規制物質
		A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	
(5) FRP製品製造工場	排																	15						
(6) 再生ゴム工場	排	3	3	1	3			1											2	2	1	2		
(7) ゴム工場	排	6	3	2	5	2																		
(8) 石油化学工場	排		4	5	4	4		1										1						
(9) 油脂加工製品製造工場	排	15	2	4	1	11								2	2	3	10	6	6	6	5	8		メチルメルカプタン(5), 2-メルカプトベンゼン(5), 酢酸(16)
(10) 塗料・印刷インキ製造工場	排	1				1	1							3	3	6	1	7	1	1	1	1		
(11) 医薬品・農薬製造工場	排	1	5	2	1	1		5	3								3		1	1	1	1		
(12) 接着剤製造工場	排	1		3				3	3							3	3							
(13) コークス製造工場	排																	1						
(14) アスファルト製造工場	排	5	6	6	5	4	4	1	6	2	2		2					5						
(15) クラフトパルプ工場	排	75	101	80	78													1						
(16) その他のパルプ・紙工場	排	1	5	5	5	5																		
(17) めっき工場	排	1	1	2												1	4	6						
(18) その他	排	2	50	50	50	47	2	4										3		5	3	3	3	
5. その他の製造工場																								
(1) 繊維工場	排	45	9	11	9			9									2	2	4	1	2	1		酢酸(9), 酢酸(26)
(2) 木工工場	排							1									3							
(3) 紙加工品製造工場	排															2	2	7	2	2				
(4) 印刷工場	排	7	2	3	2	1		4	1	10	4	8						7	10	4	1		4	酢酸(7), 酢酸(7)
(5) 塗装工場	排							5						2	4	2	32	4	43	2	2	1	1	メチルメルカプタン(9), 1-メルカプトベンゼン(7), 1-メルカプトベンゼン(5), 2-メルカプトベンゼン(11), 酢酸(7), 酢酸(8), 酢酸(12)
(6) たばこ製造工場	排							1	5					1	1	1	5	4	8					1-メルカプトベンゼン(8), 1-メルカプトベンゼン(6), 酢酸(9)
(7) なめし皮・皮革製品製造工場	排																							
(8) 窯業・土石製品製造工場	排	5	6	7	1	1	4	3					1				1		1					
(9) 製鉄工場	排	4	2	2	3												7		10					メチルメルカプタン(6)
(10) 非鉄金属製造工場	排	11	13																					
(11) 鑄物工場	排	1	2	2	1			1	1															
(12) 製缶工場	排		1	1	1	1										1								
(13) 輸送用機械器具製造工場	排	2	1	1	1	1	3						2			2	3		1	4	1	1	1	酢酸(12)
(14) その他の機械製造工場	排													9	7	22	22	38						メチルメルカプタン(14), 1-メルカプトベンゼン(10), 1-メルカプトベンゼン(5), 1-メルカプトベンゼン(10), 酢酸(10), 酢酸(23), ベンゼン(10), 酢酸(11)
(15) その他の金属製品製造工場	排		3					1								1	5	5						
(16) プリント基板製造工場	排																	3						
(17) 半導体製品製造工場	排																							

表4-6 (その3)

業 種	場所	指 定 悪 臭 物 質																						未 規 制 物 質
		A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	
(18) その他	排 環	5 5	6 3	7 4	6 3	6 2	3 3								6	3	14	2 1	9	4	4	4	4	ベンゼン(5)
6. サービス業・その他																								
(1) 廃棄物最終処分場	排 環	7 8	4 7	5 11	5 6	4 6	1 3	6 5										1 2						
(2) ごみ焼却場	排 環	35 22	15 20	18 20	21 17	13 12	11 6	9 6	1									4 4		2 1	2 1	2 1	2 1	メチルメルカプタン(9), フェノール(9)
(3) 下水処理場	排 環	7 73	9 29	10 44	6 36	5 18												1		12	15	9	10	酢酸(17)
(4) し尿処理場	排 環	16 31	13 21	13 23	13 20	14 20	7 6	4 2												1 14	1 14	1 14	1 14	
(5) 火葬場	排 環	3 19	3 10	3 18	3 11	3 9	3 19	3																
(6) と畜場	環	9	9	9	9	9	5													7	7	7	7	
(7) へい獣取扱場																								
(8) 学校																								
(9) 食料品店																								
(10) 愛がん動物販売店																								
(11) ガソリンスタンド																								
(12) その他の販売店																								
(13) 医療機関																								
(14) クリーニング店・洗濯工場	排																							メチルメルカプタン(15)
(15) 飲食店	排 環	1		2			1	1												1				o-295512(5), 1,2,4-トリメルカプトベンゼン(5), 1,3,5-トリメルカプトベンゼン(5)
(16) 写真屋・現像所																								
(17) プロパンガス詰め替え所																								
(18) 旅館・ホテル																								
(19) 美容院・理髪店																								
(20) 廃品回収業	排			1																				
(21) 自動車修理工場	排 環								1								3 1	3 1	6 2				1	
(22) 倉庫																								
(23) 一般事務所																								
(24) 運送業																								
(25) 公衆浴場	排		1	1	1										2	2	4		1					
(26) 駐車場																								
(27) 自動車解体業																								
(28) 清掃業																								
(29) 魚網洗浄・乾燥所	環	2	2	2																				
(30) 資材置場																								
(31) 野焼き																								
(32) 不法投棄																								
(33) その他	排 環	2 15	1 6	1 11	1 6	1 6	1 12											4 1	2		3	3	3	3

表4-7 濃度測定物質一覧

注) □は指定悪臭物質であり、右の数字は三点比較式臭気法による閾値^{1,2)}を表す。
ただし、キシレンの閾値はo, m, pの平均値として示している。

1. 硫黄化合物		酢酸i-ブチル	0.008
硫化水素	0.00041(ppm)	酢酸ビニル	-
メチルメルカプタン	0.00007	アクリル酸メチル	-
硫化メチル	0.003	アクリル酸エチル	0.00026
二硫化メチル	0.0022		
エチルメルカプタン	0.0000087	9. 芳香族化合物	
n-プロピルメルカプタン	0.000013	ベンゼン	2.7
二硫化炭素	0.21	トルエン	0.33
2. アンモニア・アミン類		エチルベンゼン	0.17
アンモニア	1.5	n-プロピルベンゼン	0.0038
トリメチルアミン	0.000032	キシレン	0.16
3. 脂肪族炭化水素		o-キシレン	0.38
n-ヘキサン	1.4	m-キシレン	0.041
n-ヘキサン	1.5	p-キシレン	0.058
n-ヘプタン	0.67	o-エチルトルエン	0.074
エチレン	-	m-エチルトルエン	0.018
プロピレン	13	p-エチルトルエン	0.0083
シクロヘキサン	-	1,2,3-トリメチルベンゼン	-
シクロヘキサン	2.5	1,2,4-トリメチルベンゼン	0.12
4. 脂肪族アルコール		1,3,5-トリメチルベンゼン	0.17
メタノール	33	キシレン	0.035
エタノール	0.52	フェノール	0.0056
1-プロパノール	0.094	o-クレゾール	0.00028
i-プロパノール	26	p-クレゾール	0.000054
1-ブタノール	0.038	アニリン	-
i-ブタノール	0.011	ニトロベンゼン	-
5. 脂肪族カルボン酸		ナフタレン	-
ギ酸	-	10. テルペン類	
酢酸	0.006	α-ピネン	0.018
プロピオン酸	0.0057	リモネン	0.038
n-酪酸	0.00019	α-テルピネオール	-
i-酪酸	0.0015		
n-吉草酸	0.000037	11. 塩素化合物	
i-吉草酸	0.000078	塩化水素	-
n-カプロン酸	0.0006	クロロメタン	-
i-カプロン酸	0.0004	ジクロロメタン	160
ラウリン酸	-	クロロホルム	3.8
6. 脂肪族アルデヒド		四塩化炭素	4.6
ホルムアルデヒド	0.5	1,2-ジクロロエタン	-
アセトアルデヒド	0.0015	1,1,1-トリクロロエタン	-
プロピionalデヒド	0.001	1,2-ジクロロプロパン	-
n-ブチルアルデヒド	0.00067	トリクロロエチレン	3.9
i-ブチルアルデヒド	0.00035	テトラクロロエチレン	0.77
n-ヘキシルアルデヒド	0.00041	塩化ビニル	-
i-ヘキシルアルデヒド	0.0001	塩化アリル	-
アクロレイン	0.0036	二酸化塩素	-
7. 脂肪族ケトン		12. その他	
アセトン	42	メチルセルソルフ	-
メチルエチルケトン	0.44	エチルセルソルフ	-
メチルイソブチルケトン	0.17	セルソルフアセテート	0.049
8. 脂肪族エステル		アクリロニトリル	8.8
酢酸メチル	1.7	N,N-ジメチルホルムアミド	-
酢酸エチル	0.87	シクロヘキサノン	-
酢酸n-ブチル	0.016	ヒマジン	0.063
		プロピレンオキシド	-
		ヨウ素	-
		フッ化水素	-
		THC	-

4-2-5 物質濃度と臭気強度の関係

4-2-5-1 解析内容および解析方法

すでに述べたように、物質濃度測定による規制基準値の設定に際しては、調香師を被験者として無臭室法による官能試験を行い、6段階臭気強度尺度の2.5から3.5に相当する濃度とすることとした。しかし、これらの測定は各指定悪臭物質が単独で存在する条件で行われたものであり、多成分が複合した実際の悪臭中の各物質に対して同様の関係が成り立つかどうかは不明である。また、臭気強度2.5と3.5の設定に関しても、悪臭苦情の発生状況を十分反映しているかどうかは疑問であり、苦情の発生する臭気強度レベルに関する検討が不可欠である。そこで本項では、物質濃度と臭気強度の関係について回帰分析を行い、機器分析による規制基準値と実際の悪臭測定データから求めた規制基準相当値との関連性について検討した。なお、苦情の発生する臭気強度レベルについては、4-2-8で述べる。

解析方法としては、まず排出口および環境（敷地境界）において物質濃度測定が行われている試料について、閾希釈倍数（各物質の濃度を表4-7に示したそれぞれの閾値で割った値）が最大となる物質（閾希釈倍数最大物質）を集計し、次に、環境（敷地境界）で臭気強度も同時に測定が行われている試料については、各業種、各閾希釈倍数最大物質ごとに物質濃度の対数と臭気強度の関係について回帰分析を行った。すなわち、一般的に外界からの刺激強度Sと感覚の大きさIとの間には、

$$I = K \log S \quad (4-1)$$

K：定数

というWeber-Fechnerの法則が成立する^{1,2)}が、機器分析による規制基準値も物質濃度（外界からの刺激強度）と臭気強度（感覚の大きさ）の関係を（4-1）式にあてはめることによって設定していることから、本解析においても同様の回帰分析を行い、現行の規制基準値の妥当性について検討した。

4-2-5-2 解析結果および考察

各業種について閾希釈倍数最大物質を集計し、データ数が5以上であったものをまとめて示したのが表4-8である。これによると、畜産農業、飼料・肥料製造工場および食料品製造工場では硫黄化合物とアンモニア・アミン類が多く、各種製造工場ではトルエン、キシレンなどの有機溶剤が多数を占めている。また、クラフトパルプ工場では硫黄化合物、下水処理場やし尿処理場では硫黄化合物とアンモニア・アミン類が多くなっている。全体的には、閾希釈倍数最大物質の大半が指定悪臭物質となっているが、悪臭物質指定の妥当性を論ずるには、これらの物質が臭気強

表4-8 業種別閾希釈倍数最大物質（その1）

注) ①「場所」は試料採取場所のことであり、「排」は排出口、「環」は環境（敷地境界）を示す。
 ②「閾希釈倍数最大物質」は物質濃度をその閾値で割った値が最大であったもののうち、データ数が5以上であったもの。
 ③物質名の前の「*」は指定悪臭物質であることを示す。

業 種	場 所	閾希釈倍数 最大物質	データ数
1. 畜産農業			
(1) 養豚業	環	* トリメチルアミン * 硫化水素 * アンモニア * n-吉草酸 * メチルメルカプタン * n-酪酸 * 二硫化メチル	42 33 32 14 13 12 5
(2) 養牛業	環	* アンモニア * トリメチルアミン * 硫化水素 * n-吉草酸	16 12 9 9
(3) 養鶏業	環	* トリメチルアミン * 硫化水素 * メチルメルカプタン * アンモニア 酢酸 * n-酪酸	58 39 16 15 8 7
2. 飼料・肥料製造工場			
(1) 魚腸骨処理場	排 環	* トリメチルアミン * トリメチルアミン * メチルメルカプタン * 硫化水素	16 68 16 5
(2) 獣骨処理場	排 環	* 硫化水素 * トリメチルアミン * 硫化水素 * トリメチルアミン * メチルメルカプタン * アンモニア 酢酸	10 6 43 31 18 18 5
(7) 配合飼料製造工場	排	* トリメチルアミン	5
(8) その他	環 排	* トリメチルアミン * メチルメルカプタン	5 6
3. 食料品製造工場			
(1) 畜産食料品製造工場	環	* トリメチルアミン * 硫化水素	12 5
(3) 発酵食料品製造工場	環	* トリメチルアミン	7
(4) 油脂系食料品製造工場	環	* 硫化水素 * n-吉草酸	10 9
(5) でんぷん製造工場	環	* トリメチルアミン	8
(6) 調理食料品製造工場	排	* アンモニア	6
(8) コーヒー製造工場	排 環	* メチルメルカプタン * 硫化水素 * メチルメルカプタン	7 5 5

表4-8 (その2)

業 種	場 所	閾希釈倍数 最大物質	データ数
4. 化学工場			
(2) 無機化学工業製品製造工場	排	* 硫化水素	5
(5) FRP製品製造工場	環	* スチレン	14
(9) 油脂加工製品製造工場	排 環	* トルエン * トリメチルアミン * n-吉草酸	5 10 5
(11) 医薬品・農薬製造工場	環	* トリメチルアミン	5
(15) クラフトパルプ工場	排 環	* メチルメルカプタン * 硫化水素 * メチルメルカプタン * 硫化水素	48 38 29 11
(18) その他	排 環	* メチルメルカプタン * 硫化水素 * メチルメルカプタン	40 7 19
5. その他の製造工場			
(1) 繊維工場	環	* 硫化水素 * トリメチルアミン 酢酸 * メチルメルカプタン * 二硫化メチル	25 14 12 11 5
(3) 紙加工品製造工場	排	* トルエン	5
(4) 印刷工場	排 環	* トルエン * スチレン	8 5
(5) 塗装工場	排	* キシレン 酢酸ブチル * トルエン	21 6 5
(9) 製鉄工場	排 環	* キシレン * トルエン * アンモニア * トルエン	6 5 14 6
(10) 非鉄金属製造工場	環	* 硫化水素	13
(13) 輸送用機械器具製造工場	環	* トリメチルアミン 酢酸	10 5
(14) その他の機械製造工場	排	1-ブタノール * i-ブタノール	7 6
(18) その他	排	* トルエン	7
6. サービス業・その他			
(2) ごみ焼却場	排 環	* アンモニア フェノール * トリメチルアミン * メチルメルカプタン * アンモニア	10 9 8 11 7
(3) 下水処理場	排 環	* 硫化水素 * トリメチルアミン * 硫化水素 * アンモニア * メチルメルカプタン * 硫化メチル	5 22 17 15 13 8
(4) し尿処理場	排 環	* メチルメルカプタン * トリメチルアミン * アンモニア * 硫化水素 * メチルメルカプタン	8 6 11 6 6
(5) 火葬場	環	* 二硫化メチル * トリメチルアミン	8 7
(14) クリーニング店・洗濯工場	排	テトラクロエチレン	14
(33) その他	環	* トリメチルアミン	10

度に対する寄与も大きいかどうかを検討しなければならない。

そこで、表4-8に示した閾希釈倍数最大物質のうち、環境（敷地境界）で臭気強度の測定も行われているものに対して、物質濃度の対数と臭気強度の関係についての回帰分析を行った。実際には、物質濃度と臭気強度ともに測定が行われているデータ数が10以上であるものに対して回帰分析を行ったが、有意水準5%で回帰が有意であったのは、26種類のうち、図4-7に示した6種類のみであった。ここで、図中の実線は本解析において求められた回帰直線であり、点線は無臭室法によって求められた回帰直線¹³⁾である。また、表4-9には、これらの回帰式と回帰式から算出した臭気強度2.5、3.0、3.5に対応する物質濃度を示す。回帰が有意であるもの自体が少なかったことは、多成分の複合系として存在する実際の悪臭に対してWeber-Fechner則を適用することが困難であることを示唆しており、単成分の条件下での臭気強度2.5から3.5に対応する物質濃度として設定された現行の規制基準値は、人間の感覚的応答の大きさを反映しているとはいえない。また、回帰が有意であった6種類に関しても、図4-7に示すように測定データにはかなりばらつきがあり、表4-9の回帰式から算出した規制基準相当値も業種や物質に系統的な傾向は認められない。一方、図4-7の点線の上側のデータについては、同じ濃度でも単物質の場合よりも臭気強度が大きくなる、すなわち他の物質との相加・相乗効果が影響しているか臭気強度への寄与が大きい未測定物質が存在すると考えられ、逆に点線の下側のデータについては、同じ濃度でも単物質の場合よりも臭気強度が小さくなる、すなわち他の物質との相殺効果の影響が考えられる。このような観点から実際のデータをみると、1)、3)、4)では点線の上側、2)、6)では点線の下側にデータが多く存在する傾向がみられるが、本解析のデータのみでは定量的な検討を行うまでには至らなかった。

以上のことから、単成分系での物質濃度と臭気強度の関係から算定された現行の規制基準値を、多成分の複合系として存在する実際の悪臭に対して適用することは困難であり、各指定悪臭物質の濃度規制では種々の業種から発生する悪臭を総合的に評価することは不可能であると考えられる。

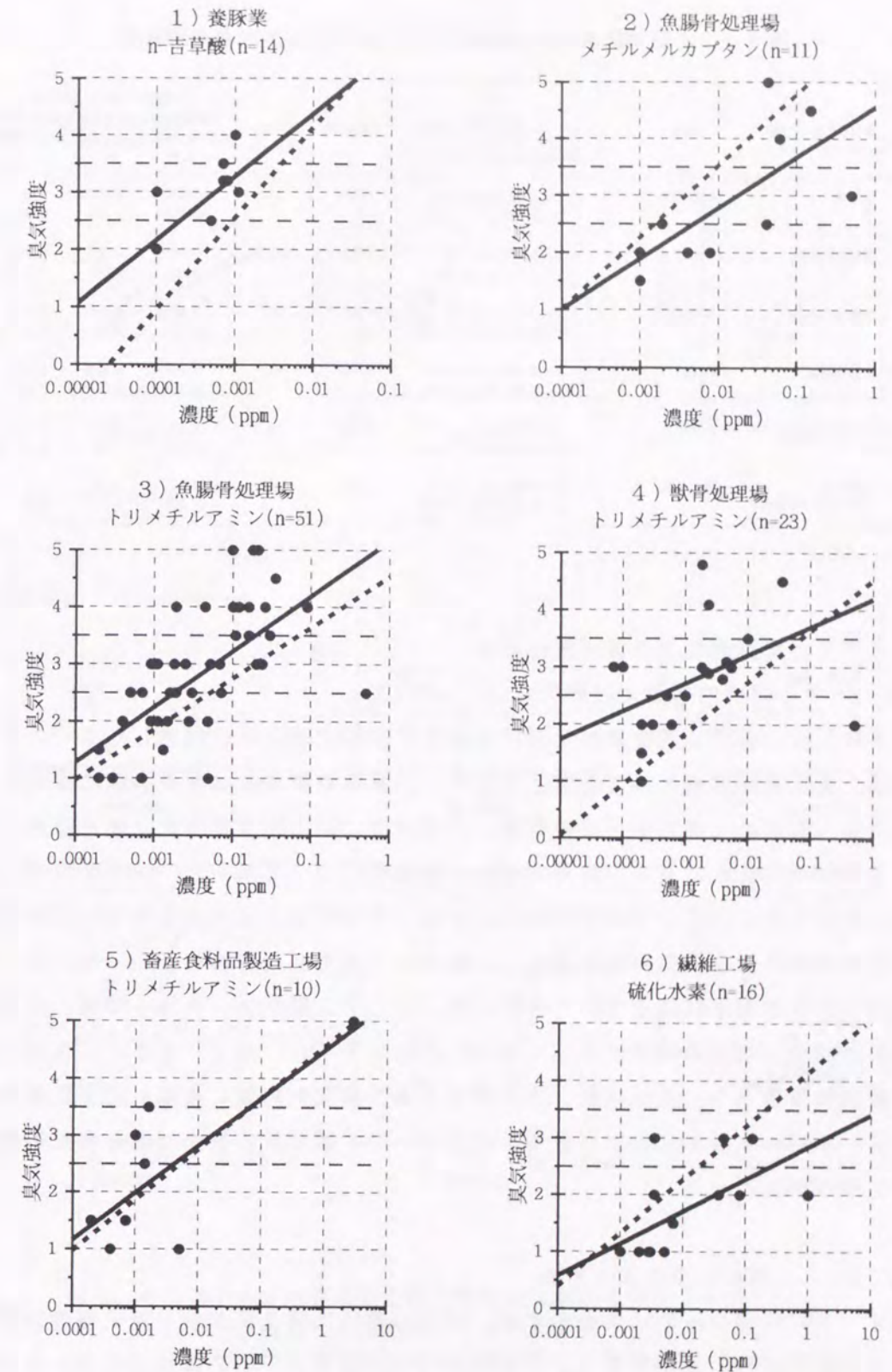


図4-7 閾希釈倍数最大物質の濃度と臭気強度の関係
データ数10以上で有意水準5%で回帰が有意であったものについて示す。
実線は本解析での回帰直線、点線は無臭室法での回帰直線¹³⁾を表す。

表4-9 閾希釈倍数最大物質の濃度と臭気強度の回帰分析結果

業種	物質名	回帰式 y:臭気強度 x:濃度(ppm) (カッコ内は無臭室測定によるもの ¹⁾)	相関係数	データ数	回帰式から算出した下記の 臭気強度に対応する物質濃度(ppm) (カッコ内は無臭防止法に基づく規制基準値)		
					2.5	3.0	3.5
1) 養豚業	n-吉草酸	$y=1.101\log x+6.60$ ($y=1.581\log x+7.29$)	0.730	14	0.00019 (0.0009)	0.00053 (0.002)	0.0015 (0.004)
2) 魚腸骨処理場	トリメチルアミン	$y=0.909\log x+4.62$ ($y=1.251\log x+5.99$)	0.705	11	0.0047 (0.002)	0.017 (0.004)	0.059 (0.01)
3) 魚腸骨処理場	トリメチルアミン	$y=0.973\log x+5.21$ ($y=0.901\log x+4.56$)	0.671	51	0.0016 (0.005)	0.0053 (0.02)	0.017 (0.07)
4) 鶏骨処理場	トリメチルアミン	$y=0.486\log x+4.17$ ($y=0.901\log x+4.56$)	0.454	23	0.00036 (0.005)	0.0038 (0.02)	0.041 (0.07)
5) 畜産食料品製造工場	トリメチルアミン	$y=0.825\log x+4.48$ ($y=0.901\log x+4.56$)	0.769	10	0.0040 (0.005)	0.016 (0.02)	0.065 (0.07)
6) 繊維工場	硫化水素	$y=0.561\log x+2.84$ ($y=0.950\log x+4.14$)	0.627	16	0.25 (0.02)	1.95 (0.06)	15 (0.2)

4-2-6 物質濃度と臭気指数の関係

4-2-6-1 解析内容および解析方法

悪臭防止法に基づく濃度規制と苦情現場での実態との矛盾に困惑した多くの自治体では、臭気を感じ量として把握するために、臭気濃度または臭気指数による官能規制の導入を進めてきたが、この場合、機器分析による物質濃度測定値と官能試験による臭気濃度または臭気指数測定値との関連性について検討し、各々の評価手法の特性を明らかにしておく必要がある。そこで本項では、濃度測定物質の閾希釈倍数と官能試験による臭気指数測定値との関係について回帰分析を行い、各方法による測定データの対応関係について考察した。ここで、解析データとしては、前項の閾希釈倍数最大物質の集計において抽出したものを扱い、表4-8に示した閾希釈倍数最大物質のうち、臭気指数（臭気濃度の場合は臭気指数に変換）の測定値が得られているデータ数が10以上であるものについて、閾希釈倍数の対数と臭気指数の間で回帰分析を行った。

4-2-6-2 解析結果および考察

図4-8に回帰分析の結果を示すが、図中の破線は閾希釈倍数と臭気濃度が等しくなる直線であり、単物質について測定を行った場合は、この破線上にデータが存在することになる。また、実線は有意水準5%で回帰が有意であったものの回帰直線を表し、表4-10にその回帰結果を示す。図4-8において、破線の上側のデータは閾希釈倍数よりも臭気濃度が大きく、閾希釈倍数以上に希釈しなければならぬということを示しており、破線の下側のデータは閾希釈倍数よりも

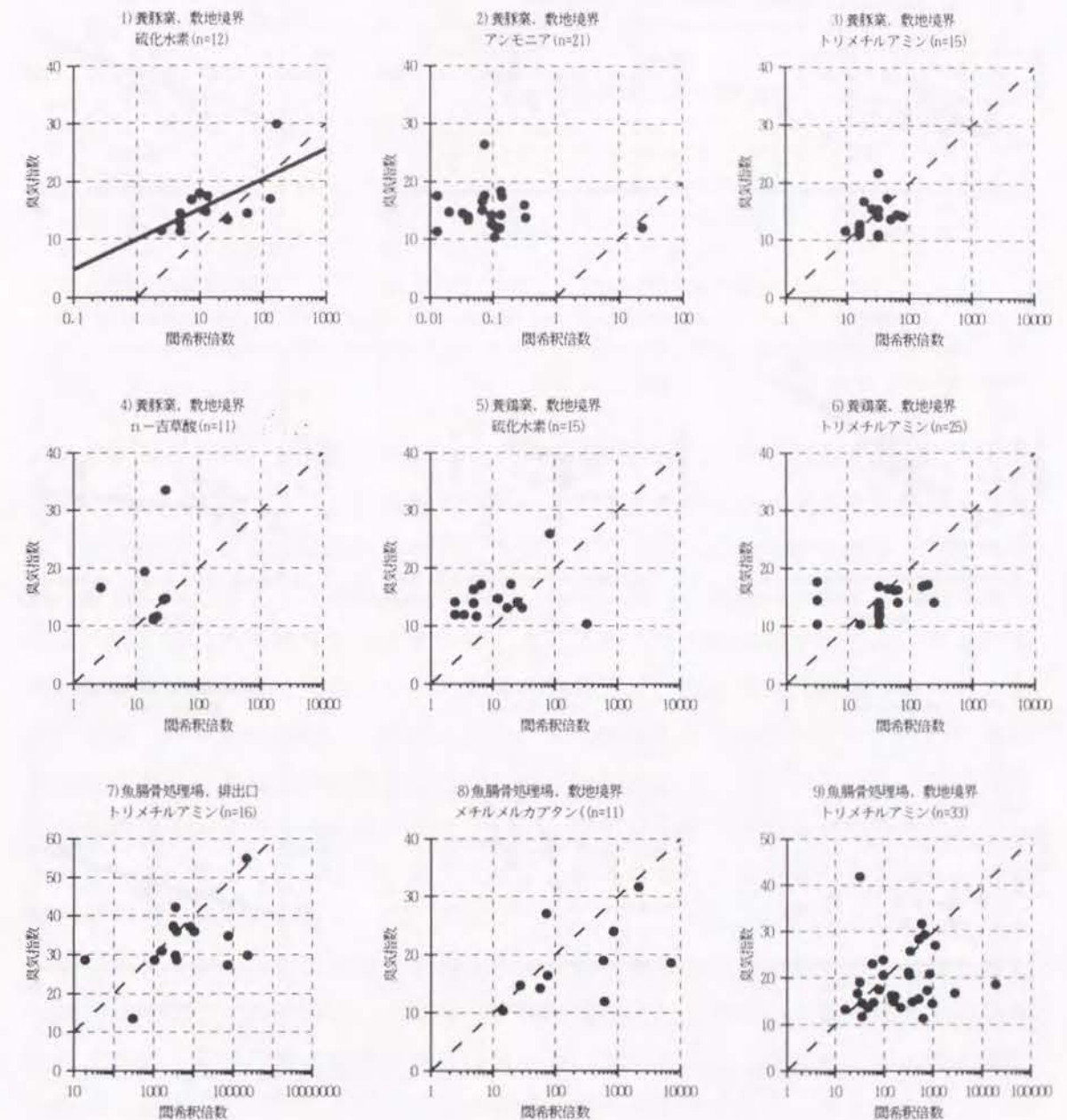


図4-8 濃度測定物質の閾希釈倍数と臭気指数の関係（その1）

データ数10以上であるものを示す。
破線は閾希釈倍数と臭気濃度が等しくなる直線、実線は有意水準5%で回帰が有意であったものの回帰直線を表す。

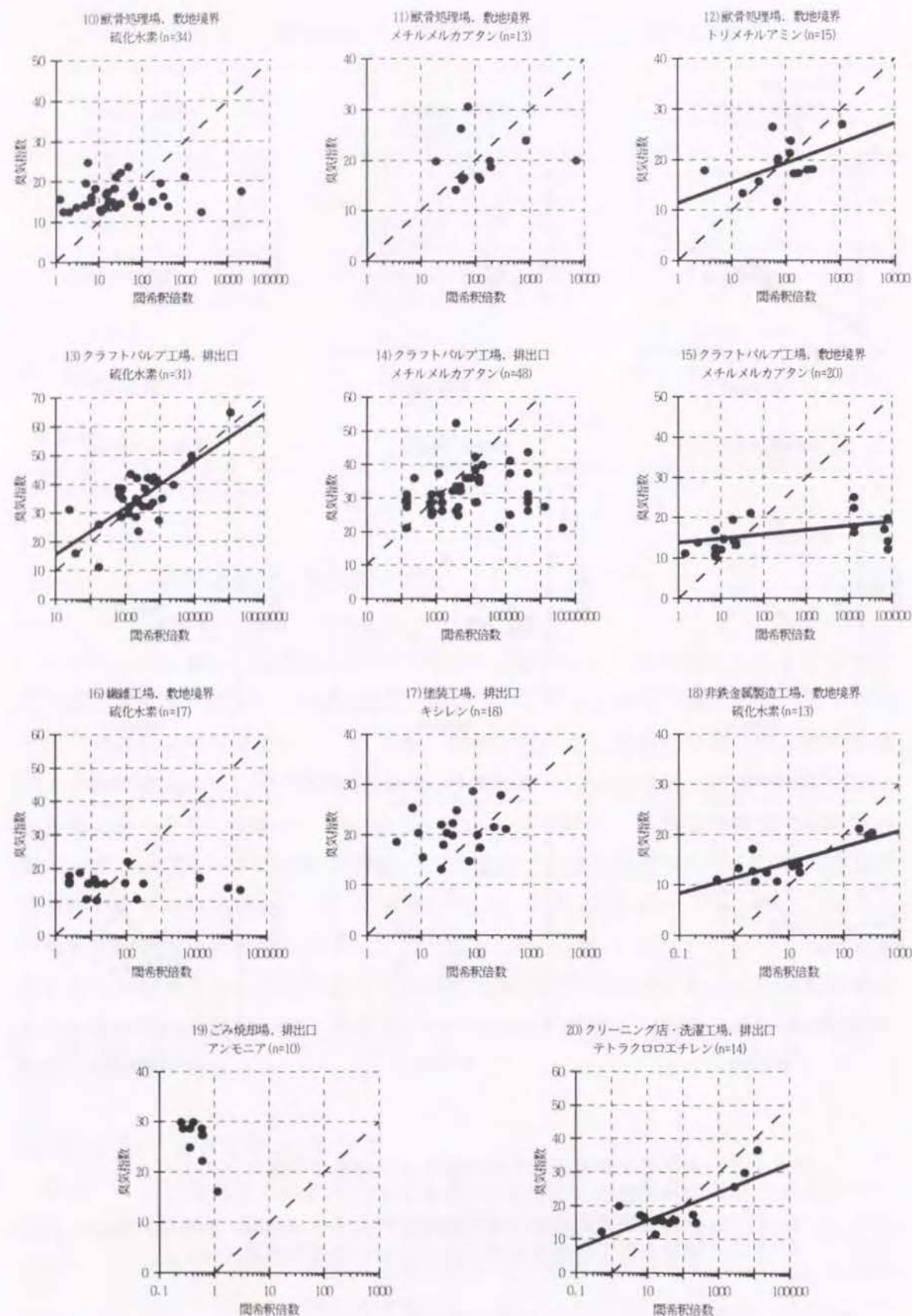


図4-8 (その2)

表4-10 濃度測定物質の閾希釈倍数と臭気指数の回帰分析結果

注)「場所」は試料採取場所のことであり、「排」は排出口、「環」は環境(敷地境界)を示す。

業 種	場 所	物質名	回帰式 (y:臭気指数, x:閾希釈倍数)	相関係数	データ数
1) 養豚業	環	硫化水素	$y = 5.56 \log x + 9.50$	0.669	12
12) 獣骨処理場	環	トリメチルアミン	$y = 3.85 \log x + 12.0$	0.528	15
13) クラフトパルプ工場	排	硫化水素	$y = 7.97 \log x + 8.46$	0.730	31
15) クラフトパルプ工場	環	メチルメルカプタン	$y = 1.07 \log x + 13.3$	0.467	20
18) 非鉄金属製造工場	環	硫化水素	$y = 3.30 \log x + 11.4$	0.814	13
20) クリーニング店・洗濯工場	排	テトラクロロエチレン	$y = 4.32 \log x + 11.2$	0.788	14

臭気濃度が小さく、閾希釈倍数分希釈するまでににおいがなくなるということを示している。いずれにせよ、破線付近にデータが集まれば当該濃度測定物質が臭気濃度(臭気指数)の決定に大きく寄与しているということになるが、図4-8をみると、破線に沿ってデータが存在しているものは少なく、回帰が有意であったものも表4-10に示した6種類にとどまっている。このような結果に対しては、多成分臭気の相互作用が大きく影響していると考えられるが、特に環境(敷地境界)での測定では得られたデータの範囲が狭いこと、すなわち、臭気指数10以下については希釈操作が困難であるために手法的に測定が不可能であり、データが存在しないという点も原因として考えられる。1)、18)、20)の回帰式の傾きが破線の傾き(10)よりも小さくなっていることに対しては、このようなデータの偏りも少なからず影響していると考えられる。

以上のことから、物質濃度測定値と官能試験による臭気指数測定結果とは一義的には対応せず、この原因としては様々な臭気成分の相互作用の影響が考えられるが、換言すれば、臭気指数は物質濃度とは異なり、種々の臭気成分に対する人間の感覚的応答を全体としてとらえることができる一つの指標であるといえる。ただし、現状では臭気指数10以下の測定が不可能であるために、低濃度領域を含めて詳細な検討を行うためには三点比較式臭袋法の測定方法の改善が必要であると考えられる。

4-2-7 臭気指数と臭気強度の関係

4-2-7-1 解析内容および解析方法

前項で述べたように、臭気指数は複合臭気の相互作用の影響を反映した感覚的指標の一つであるといえる。実際、多くの自治体では、臭気指数あるいは臭気濃度によって悪臭の規制を行っているが、官能試験による規制基準値の設定においては、臭気の強さの直接評価値である臭気強度と臭気指数の関係について検討し、臭気強度に対応する臭気指数の値を明らかにしておく必要がある。そこで本項では、環境（敷地境界）における測定データを用いて、臭気指数と臭気強度の関係について回帰分析を行い、両者の関連性や業種による特性の違いなどについて検討した。実際の解析では、環境（敷地境界）において、臭気指数、臭気強度ともに測定が行われているデータを抽出し、データ数が10以上である業種について回帰分析を行った。

4-2-7-2 解析結果および考察

有意水準5%で回帰が有意であったものの結果を表したのが図4-9である。また、表4-11にはそれぞれの回帰式と回帰式から算出した臭気強度2.5、3.0、3.5に対応する臭気指数を示す。回帰が有意であった業種は30種類であったが、図4-9からわかるように、業種によってはデータのばらつきがみられ、表4-11をみると、相関係数も全体的に小さい値となっている。本解析は、全国からのデータを業種別に分類して行っているが、このようなばらつきの原因としては、同じ業種であっても各々の発生源で臭気組成や排出形態が異なること、臭気強度の測定手法が統一されていないこと¹⁴⁾などが考えられる。しかし、それぞれの業種で回帰直線を中心にデータが存在するという点に着目して考察すると、表4-11からもわかるように、回帰式の傾きが業種によって異なっており、このことは各業種から発生する臭気特性を反映していると考えられる。

そこで、図4-10に示すように、回帰式の傾きの大ききの順に業種を並べかえてみると、全体的に化学工場やその他の製造工場は傾きが大きく、畜産農業、飼料・肥料製造工場および食料品製造工場は傾きが小さくなっている。このように、回帰式の傾きが業種と関連した傾向を示すことは、悪臭の評価・規制において、業種による臭気特性の違いを考慮する必要があることを示唆しており、悪臭規制に臭気指数を導入する場合、一律の基準値をもって規制を行うことは不適當であると考えられる。

図4-9の回帰直線をすべてまとめて示したのが図4-11であるが、ある臭気強度に対応する臭気指数はかなりの範囲にわたって分布しており、表4-11によると、臭気強度2.5に対応する臭気指数は10.4から21.7、臭気強度3.0では15.2から29.1、臭気強度3.5では17.5から36.5となっている。環境庁⁸⁾においても臭気指数（臭気濃

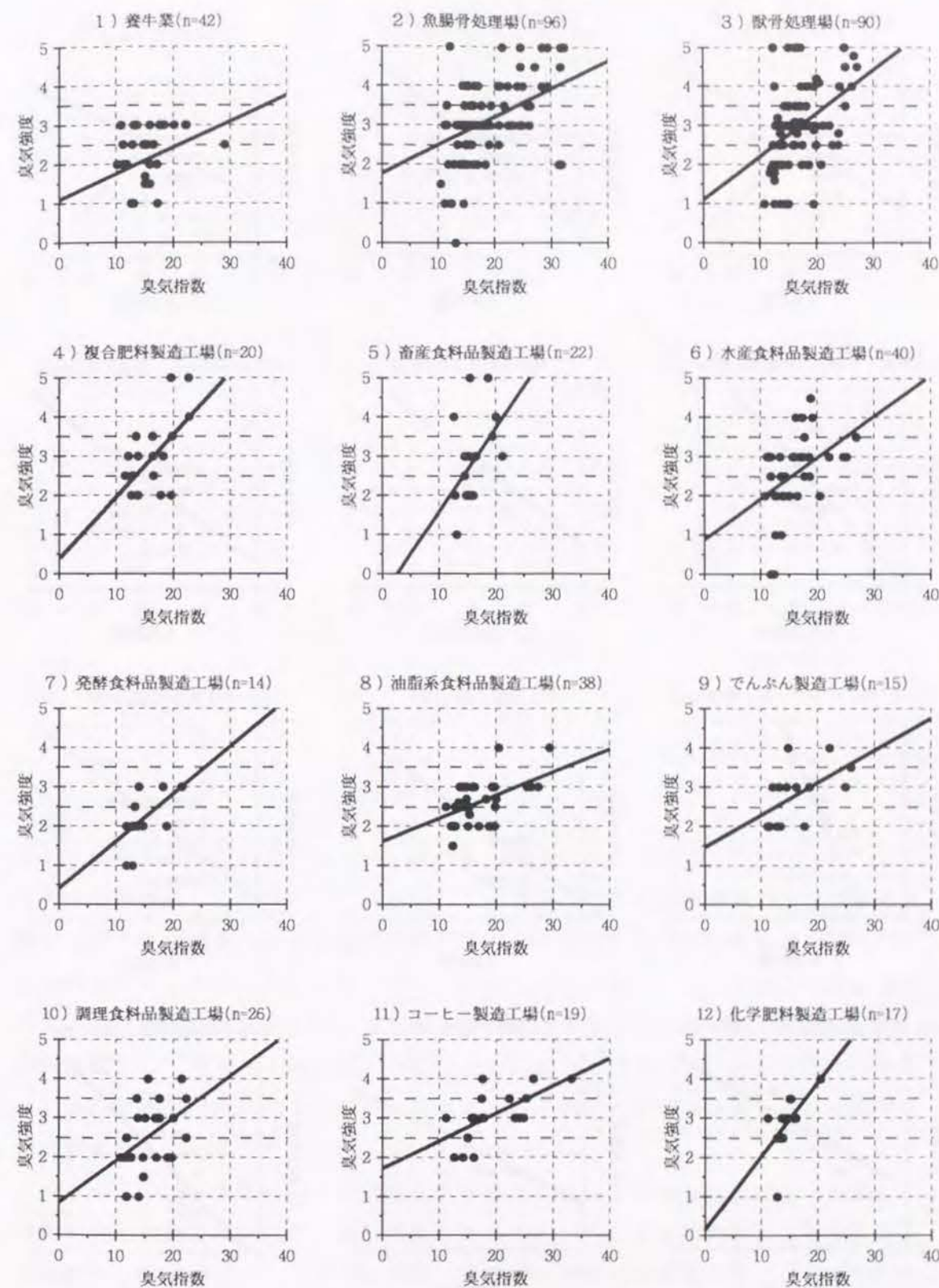


図4-9 臭気指数と臭気強度の関係（その1）
データ数10以上で有意水準5%で回帰が有意であったものについて示す。
実線は回帰直線を表す。

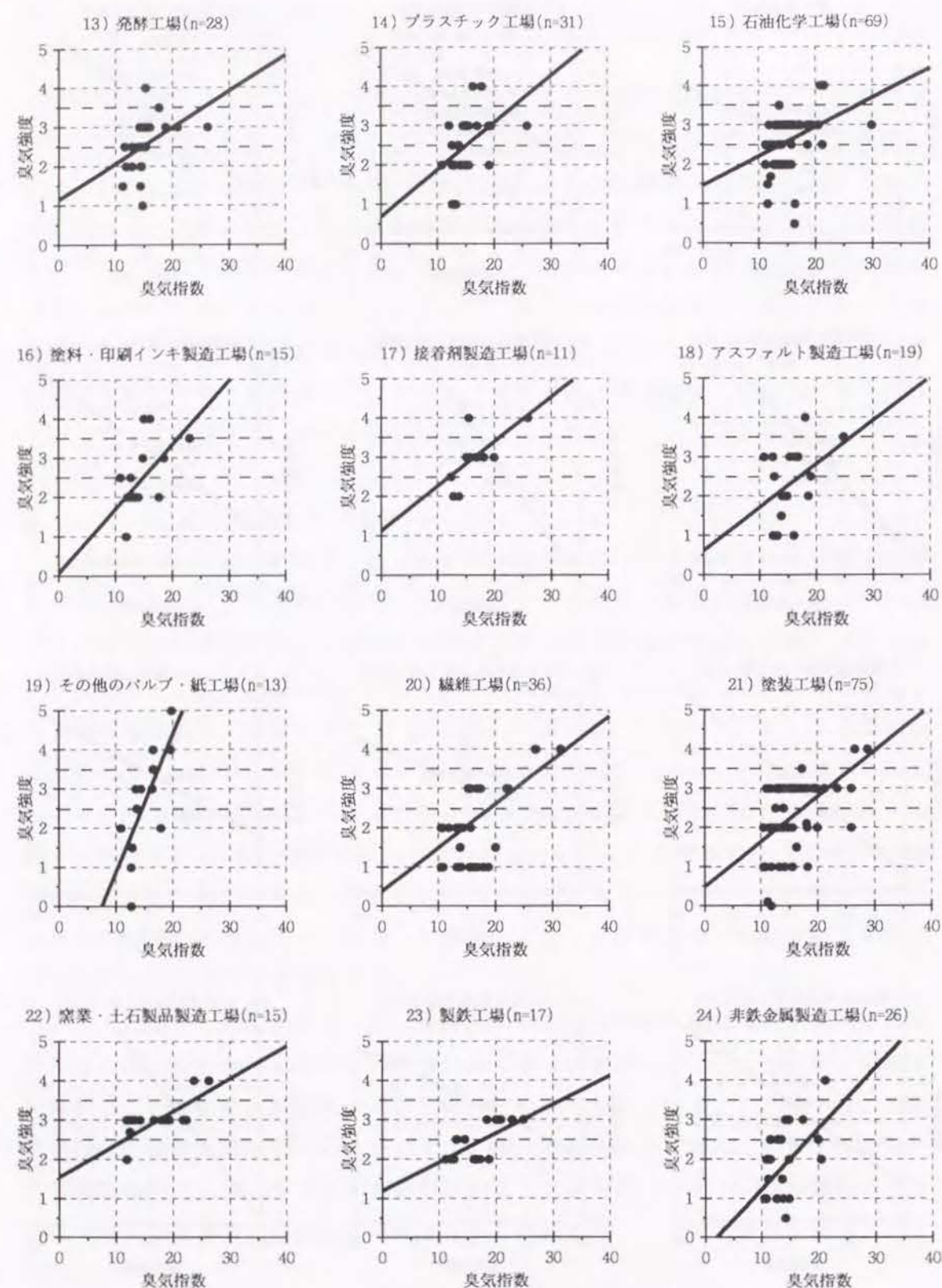


図4-9 (その2)

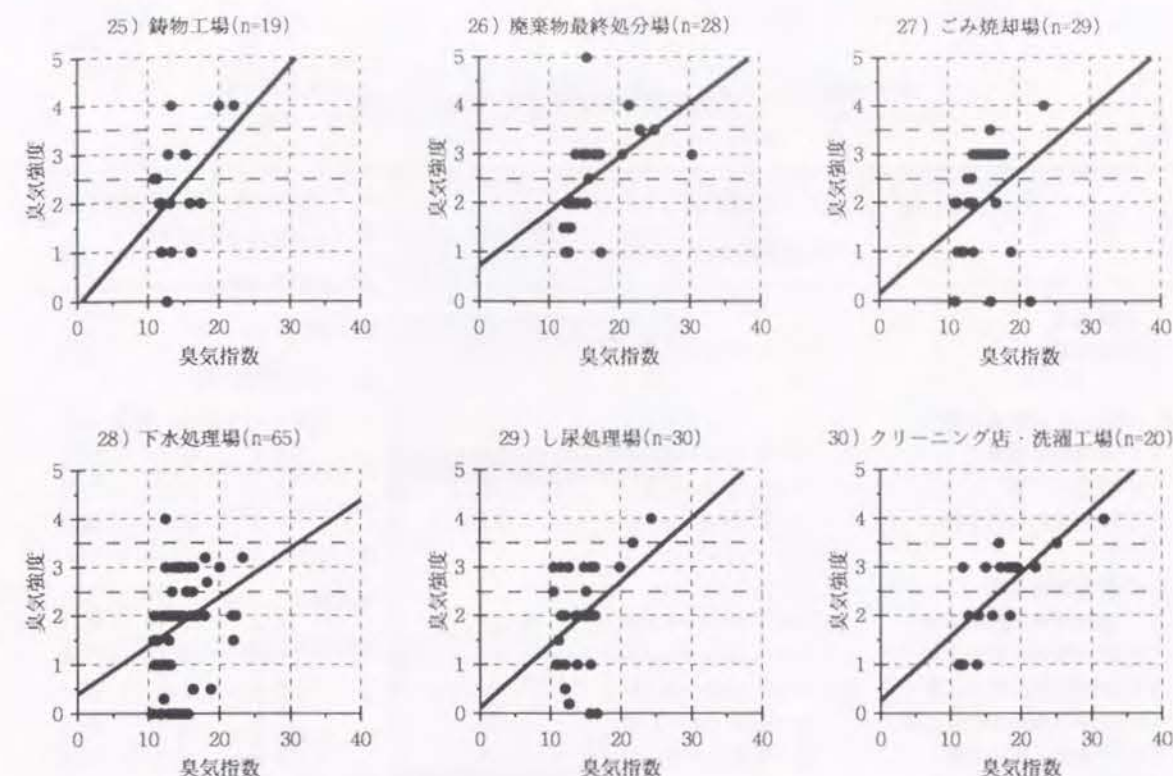


図4-9 (その3)

度)と臭気強度の対応関係について検討し、臭気強度2.5、3.0、3.5のそれぞれに対応する臭気指数として10、14、18を示しているが、これらは24種類の現場臭気を希釈しながら臭気強度と臭気指数の関係を求め、その結果を平均したものであり¹⁵⁾、限られた試料に基づく値である。また、悪臭防止法の改正によって新たに導入されることになった官能試験法による規制基準値は、臭気強度2.5、3.0、3.5に対応する臭気指数として表4-3に示すように定められることになっているが、基準値の設定において臭気指数10以下のデータを考慮したために本解析の結果よりも全体的に低い値となっていると考えられる。

以上のように、臭気指数と臭気強度の関係式における傾きが業種によって異なり、発生臭気の特徴を反映していると考えられることから、臭気指数による悪臭の評価・規制を行う際には、このような業種による特性の違いを考慮することが不可欠である。

表4-11 臭気指数と臭気強度の回帰分析結果

業 種	回帰式 (y:臭気強度,x:臭気指数)	相関係数	データ数	下記の臭気強度に対応する 臭気指数		
				2.5	3.0	3.5
1. 畜産農業						
(2)養牛業	$y=0.0674x+1.04$	0.306	42	21.7	29.1	36.5
2. 飼料・肥料製造工場						
(1)魚腸骨処理場	$y=0.0748x+1.72$	0.472	96	10.4	17.1	23.8
(2)獣骨処理場	$y=0.114x+1.01$	0.449	90	13.1	17.5	21.8
(6)複合肥料製造工場	$y=0.164x+0.312$	0.644	20	13.3	16.4	19.4
3. 食料品製造工場						
(1)畜産食料品製造工場	$y=0.211x-0.529$	0.489	22	14.4	16.7	19.1
(2)水産食料品製造工場	$y=0.107x+0.836$	0.444	40	15.6	20.2	24.9
(3)発酵食料品製造工場	$y=0.123x+0.341$	0.584	14	17.6	21.6	25.7
(4)油脂系食料品製造工場	$y=0.0603x+1.56$	0.490	38	15.6	23.9	32.2
(5)でんぷん製造工場	$y=0.0836x+1.42$	0.549	15	12.9	18.9	24.9
(6)調理食料品製造工場	$y=0.110x+0.805$	0.468	26	15.4	20.0	24.5
(8)コーヒー製造工場	$y=0.0711x+1.68$	0.642	19	11.5	18.6	25.6
4. 化学工場						
(1)化学肥料製造工場	$y=0.196x+0.0192$	0.628	17	12.7	15.2	17.8
(3)発酵工場	$y=0.0922x+1.16$	0.448	28	14.5	20.0	25.4
(4)プラスチック工場	$y=0.121x+0.656$	0.455	31	15.2	19.4	23.5
(8)石油化学工場	$y=0.0766x+1.45$	0.364	69	13.7	20.2	26.8
(10)塗料・印刷インキ製造工場	$y=0.163x+0.0849$	0.572	15	14.8	17.9	21.0
(12)接着剤製造工場	$y=0.117x+1.02$	0.686	11	12.6	16.9	21.2
(14)アスファルト製造工場	$y=0.110x+0.645$	0.481	19	16.9	21.4	26.0
(16)その他のパルプ・紙工場	$y=0.354x-2.69$	0.741	13	14.7	16.1	17.5
5. その他の製造工場						
(1)繊維工場	$y=0.115x+0.324$	0.603	36	18.9	23.3	27.6
(5)塗装工場	$y=0.117x+0.451$	0.498	75	17.5	21.8	26.1
(8)窯業・土石製品製造工場	$y=0.0827x+1.58$	0.749	15	11.1	17.2	23.2
(9)製鉄工場	$y=0.0747x+1.19$	0.662	17	17.5	24.2	30.9
(10)非鉄金属製造工場	$y=0.157x-0.323$	0.549	26	18.0	21.2	24.4
(11)鋳物工場	$y=0.166x-0.0931$	0.464	19	15.6	18.6	21.6
6. サービス業・その他						
(1)廃棄物最終処分場	$y=0.112x+0.662$	0.514	28	16.4	20.9	25.3
(2)ごみ焼却場	$y=0.127x+0.0844$	0.348	29	19.0	23.0	26.9
(3)下水処理場	$y=0.103x+0.304$	0.313	65	21.3	26.2	31.0
(4)し尿処理場	$y=0.133x+0.0659$	0.411	30	18.3	22.1	25.8
(14)クリーニング店・洗濯工場	$y=0.130x+0.270$	0.700	20	17.2	21.0	24.8

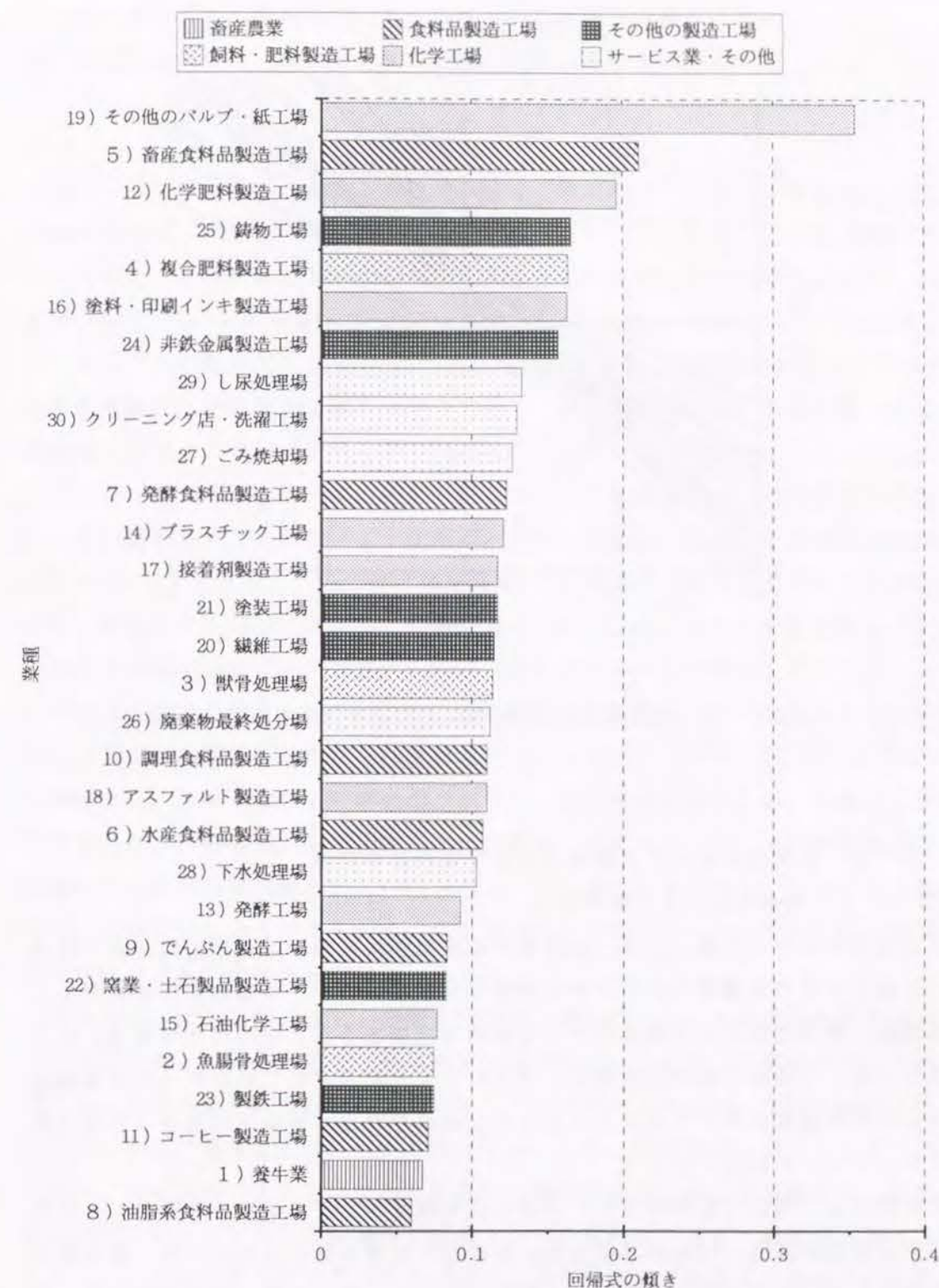


図4-10 各業種における回帰式の傾き

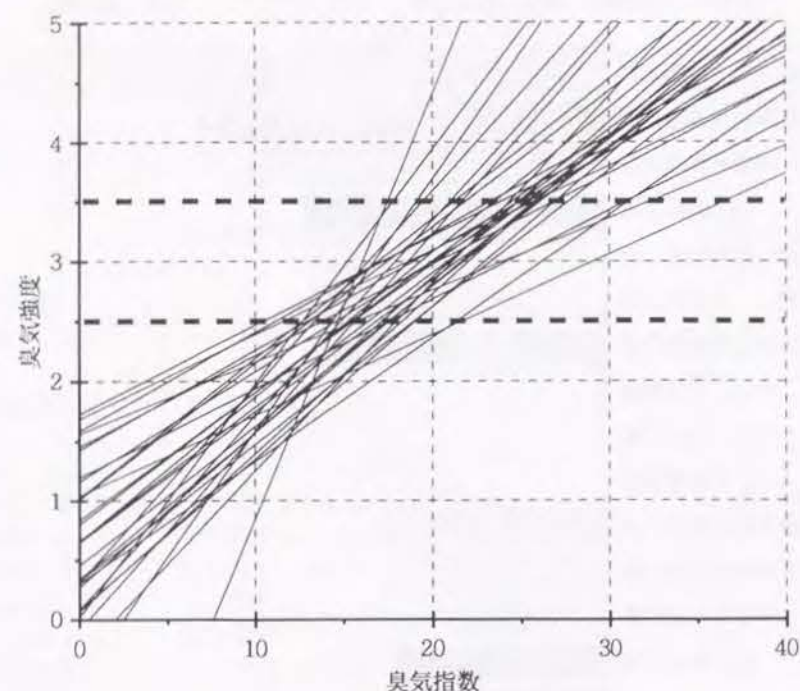


図4-11 全業種についての臭気指数と臭気強度の回帰直線

4-2-8 苦情の発生と臭気強度および臭気指数の関係

4-2-8-1 解析内容および解析方法

悪臭の規制を行うに際しては、どの程度の臭気強度あるいは臭気指数をもつ臭気にどのような条件で曝露されたときに苦情が発生するのか、すなわち苦情の発生と臭気強度、臭気指数および曝露条件との関係を把握することが不可欠である。そこで本項では、苦情の有無の記入欄に苦情「有り」と記入されていたデータの臭気強度および臭気指数を集計することによって、苦情が発生する臭気強度および臭気指数レベルについて検討した。

本解析では、環境（敷地境界）における臭気強度および臭気指数を集計し、業種別にデータの25%値、50%値（中央値）および75%値を算出したが、同一悪臭発生施設の複数の地点で測定が行われたものについては、臭気強度、臭気指数ともに最大値をもって当該発生施設の代表値とした。ここで、データが同一悪臭発生施設におけるものであるかどうかはデータ記入表には記入されていなかったため、以下の条件を満たすものを同一悪臭発生施設でのデータであるとみなし、解析を行った。

①所在地、業種、採取年月日が同一であること。

- ②採取時の天候、苦情の有無、被害範囲、被害世帯数がすべて同一であるか、全部に記入がなくても記入しているものについては同一であること。
- ③上記①②を満たし、かつデータが連続して記入されているもの。

4-2-8-2 解析結果および考察

図4-12には、苦情「有り」の場合の環境（敷地境界）における臭気強度測定データの25%値、50%値（中央値）および75%値をデータ数が10以上であった業種について示す。これをみると、50%値は臭気強度1から3にかけて存在するが、大部分は2を中心に1.5から3となっている。一方、25%値も1から3にわたって分布しているが、1が最も多く、2や2.5がそれに続いている。業種別の傾向としては、畜産農業や飼料・肥料製造工場ではやや大きく、食料品製造工場、化学工場、その他の製造工場およびサービス業・その他では小さくなっている。前述したように、悪臭防止法に基づく規制基準値の設定に際しては、規制地域の住民の大多数が悪臭による不快感をもつことのないような範囲として定めることとし、その下限は臭気強度2.5に対応する濃度、その上限は臭気強度3.5に対応する濃度とすることとされた。また、悪臭防止法の改正によって新たに導入されることになった官能試験法による規制基準値も、同様に臭気強度2.5から3.5に対応する臭気指数として定められることになっている。図4-12中には、これら臭気強度2.5および3.5の位置を破線で示しているが、本解析で得られた25%値および50%値は大部分が2.5以下となっている。本解析では、苦情「有り」の場合のパーセント値を求めているため、直接には比較できないが、苦情の発生を防止するという観点からすると、現行の規制基準設定の基礎となっている臭気強度2.5から3.5のレベルにおける規制では、苦情に十分対処することができないと考えられる。したがって、実際の苦情データをもとに規制基準設定について再検討することが必要である。

図4-13には、苦情「有り」の場合の環境（敷地境界）における臭気指数測定データの25%値、50%値および75%値をデータ数が10以上であった業種について示す。50%値は臭気指数10から20となっているものが大部分であるが、食料品製造工場やその他の製造工場などでは10以下も存在する。一方、25%値ではほとんどが10以下であり、特に業種による違いはみられない。現在の三点比較式臭気法では、臭気指数10以下の測定は試料の希釈操作の困難さから手法的に不可能であるが、図4-13によると、苦情の発生には臭気指数10以下の臭気が大きく影響すると考えられることから、測定方法の改善を含めて三点比較式臭気法に関する検討が必要である。

以上のことから、現在の悪臭防止法における規制基準設定に対する基本的考え方である臭気強度2.5から3.5という範囲は、実際の苦情発生状況と対応しているとはいえず、再検討が必要である。また、臭気指数10以下の測定が悪臭の評価に不可欠

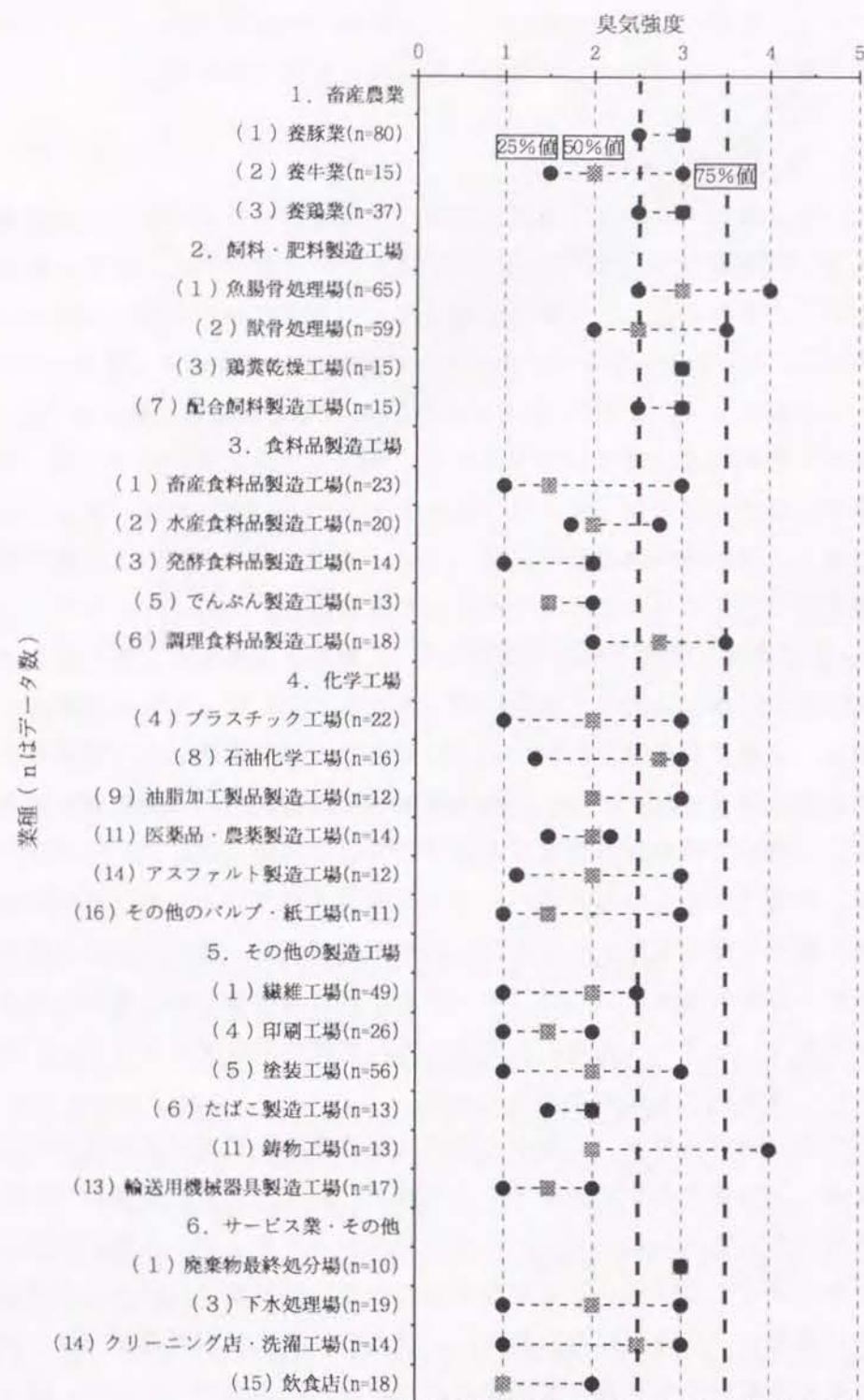


図4-12 苦情「有り」の場合の環境（敷地境界）における臭気強度測定値
臭気強度の25%値、50%値（中央値）および75%値を示す。

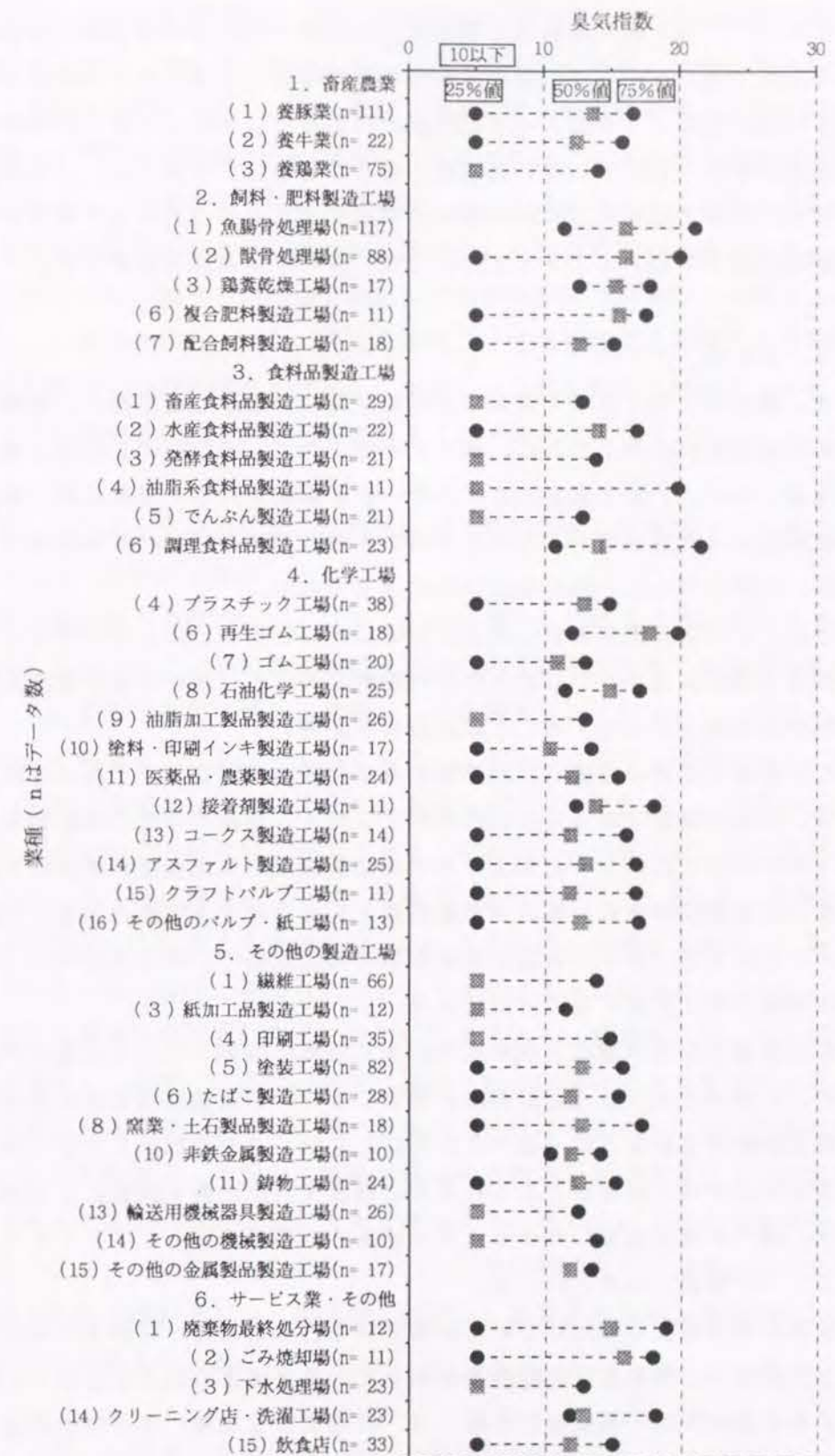


図4-13 苦情「有り」の場合の環境（敷地境界）における臭気指数測定値
臭気指数の25%値、50%値（中央値）および75%値を示す。

であることから、三点比較式臭袋法の測定手法の改善が必要であると考えられる。ただし、本解析で用いたデータの収集状況を考慮すると、苦情の申し出があった時点で測定を行ったのかどうかはデータ記入表だけでは判断できず、苦情の発生と試料の採取時期が一致していない可能性もあることから、今後のデータ収集においては、苦情の有無と試料採取時期の関係を明確にする必要があると考えられる。なお、規制基準設定に対する考え方については、さらに第6章で検討する。

4-2-9 まとめ

本節では、悪臭防止法に基づく従来の物質濃度規制の問題点を把握し、官能規制導入のための基礎資料を得るために、過去10年間にわたって全国の自治体で測定された悪臭現場での三点比較式臭袋法によるデータの解析を行い、臭気指数、臭気強度、機器測定による物質濃度および悪臭苦情の有無などの各項目相互の関係について考察した。本節で得られた知見は、以下の通りである。

- 1) 機器分析による濃度測定物質と測定件数を集計した結果、指定悪臭物質以外の未規制物質で濃度測定が行われたものは76物質にのぼり、現行の物質濃度規制のもとで指定悪臭物質を追加することには限界がある。
- 2) 閾希釈倍数最大物質の濃度と試料臭気の臭気強度の関係について回帰分析を行った結果、回帰が有意であったものは非常に少なく、業種や物質に系統的な傾向も認められなかったことから、単成分系での物質濃度と臭気強度の関係から算定された現行の規制基準値を、多成分の複合系として存在する実際の悪臭に対して適用することは困難であり、各指定悪臭物質の濃度規制では種々の業種から発生する悪臭を総合的に評価することはできない。
- 3) 閾希釈倍数最大物質の濃度と試料臭気の臭気指数の関係について回帰分析を行った結果、回帰が有意であったものは非常に少なく、物質濃度測定値と官能試験による臭気指数測定結果とは一義的には対応しない。この原因としては、様々な臭気成分の相互作用の影響が考えられるが、換言すれば、臭気指数は物質濃度とは異なり、種々の臭気成分に対する人間の感覚的応答を全体としてとらえることができる一つの指標であるといえる。
- 4) 臭気指数と臭気強度の関係について回帰分析を行った結果、回帰式の傾きが業種によって異なり、発生臭気の特徴を反映していると考えられることから、臭気指数による悪臭の評価・規制を行う際には、このような業種による特性の違いを考慮することが不可欠である。
- 5) 苦情「有り」と記入されていたデータの環境（敷地境界）における臭気強度の25%値、50%値（中央値）および75%値を算出した結果、25%値および50%値の大部分が臭気強度2.5以下であったことから、現在の悪臭防止法における規制基準

設定に対する基本的考え方である臭気強度2.5から3.5という範囲は実際の苦情発生状況と対応しているとはいえず、再検討が必要である。また、同様に苦情「有り」と記入されていたデータの環境（敷地境界）における臭気指数の25%値、50%値および75%値を算出した結果、25%値ではほとんどが臭気指数10以下であったことから、苦情の発生には臭気指数10以下の臭気が大きく影響すると考えられ、測定方法の改善を含めて三点比較式臭袋法に関する検討が必要である。

以上のように、従来の物質濃度測定による悪臭規制では実際の苦情に十分対応できないことが示された。また、臭気指数などによる官能規制を導入する際には、苦情の発生状況との対応関係を把握し、業種による発生臭気の特徴の違いを考慮したうえで規制基準値を設定する必要があることが明らかになった。

第3節 アンケート調査に基づく臭気の認容性に対する影響因子の把握

4-3-1 本解析の概要

悪臭公害の最大の特徴は、それが人間の感覚としての不快感に起因するという点にある。したがって、発生源における悪臭の排出状況や拡散・伝播過程を把握するとともに、悪臭が住民に達し、苦情として発現するまでのメカニズムおよび影響因子について検討することが不可欠である。このような中で、環境庁では、日常生活において感じる様々なにおいによる被害感などについて把握し、悪臭から生活環境を保全するための基礎資料を得ることを目的として、平成3年12月に環境モニター・アンケート「悪臭問題について」を実施した^{16) - 18)}。その結果、従来からの大規模な発生源からの悪臭よりも身近なおいを多くの人が感じており、しかも苦情として現れる以前の段階で様々なにおいが存在することが明らかになった。このように、臭気問題は住民生活に密接に係わってきており、従来の工場・事業場型の臭気対策に加えて、都市・生活型の臭気への取り組みが必要とされてきている。このような状況に対処するためには、様々な臭気が住民にどのように受け止められ、苦情として発現するのか、すなわち悪臭苦情の発生構造を把握することが不可欠である。そこで本節では、苦情の発現に大きく関与すると考えられる臭気の認容性に注目し、上記のアンケート調査データを用いて、生活環境中の種々の臭気に対する住民の知覚特性や臭気の曝露条件などについて検討し、悪臭の被害感と認容レベルに係わる影響因子の把握を行った。

4-3-2 環境モニター・アンケート調査について

環境モニターとは、環境問題に対する国民の意識・要望などを把握し、環境行政の参考に資する目的で昭和49年度に創設された制度であり、現在、全国で1500人を委嘱している。本節で解析を行ったアンケート調査「悪臭問題について」は、悪臭

に関する初の環境モニター・アンケート調査であり、平成3年12月に環境庁が委嘱している1500人（男性737人、女性763人）の環境モニターを対象として郵送法によって行われ、1282人（男性609人、女性673人）から回答を得た（回答率85.5%）。本調査は、表4-12に示す自宅内および自宅外で感じるにおいについて、表4-13に示す項目を回答してもらうものであった。

4-3-3 解析内容および解析方法

本解析では、特に悪臭公害の発現に直接関与する自宅外のおいについて数量化理論を適用し、統計的解析を行うことによって臭気の認容性に関与する因子の把握を行った。すなわち、表4-13に示す調査項目のうち、「我慢できる程度（どのくらい我慢できますか）」の項目が臭気の認容性を表すものと考え、これを目的変数、「においの強さ」、「気になる程度」、「気になる頻度」、「継続時間（どのくらい続きますか）」および「においを無くす希望（においを無くしたいですか）」を説明変数として数量化Ⅱ類による解析を行い、臭気の認容性に対する影響因子について検討するとともに、においの種類による影響因子の違いについても考察した。

解析方法としては、各モニターの回答がコード化されているデータファイルから解析に必要な部分を抽出し、欠損値を含むデータを削除した後に、パソコン統計解析パッケージ¹⁹⁾によって解析を行った。解析に用いた変数とそのカテゴリーの一覧を表4-14に示す。数量化Ⅱ類による解析では、同一のアイテム（説明変数の項目）のカテゴリー間に著しいデータ数の偏りがある場合や、データ数の著しく小さいカテゴリーがある場合には、解析結果が歪められていることが多いので、解析に先立ってカテゴリーを結合したり分離したりして、カテゴリーのデータ数を調整しておく必要がある²⁰⁾。本解析では、「継続時間」について、「1. 一日中」と「2. 数時間」、「3. 数十分間」と「4. 数分間」をそれぞれ一つのカテゴリーにまとめ、また、「においを無くす希望」について、「3. いつもにおってもよい」のカテゴリーのデータ数がほとんどのにおいの種類で極端に少なかったため、「2. 少しはにおってもよい」と合わせて一つのカテゴリーとして解析した。

4-3-4 数量化Ⅱ類について¹⁹⁾⁻²¹⁾

数量化Ⅱ類は、外的基準（目的変数）が質的変数で与えられた場合の数量化の方法で、外的基準によって分類されるグループを最もよく判別するように、質的変数（説明変数）の各カテゴリーに数値を与えようとするものである。すなわち、本解析では、表4-14の5項目の説明変数によって目的変数である「我慢できる程度」を説明しようということになる。数量化Ⅱ類では、各アイテムの影響の大きさを表す指標として偏相関係数とレンジが算出され、アイテムのカテゴリーについては、

表4-12 調査対象となったにおいの種類

《自宅内》	《自宅外》
1. トイレのにおい	1. 自動車の排ガス
2. 生ゴミのにおい	2. 近所のゴミ焼き臭
3. タバコのにおい	3. 側溝のにおい
4. 排水口のにおい	4. 飲食店からのにおい
5. 調理臭（残留臭含む）	5. 近所のペット臭
6. げた箱のにおい	6. ゴミ集積所・収集車
7. かび臭（押入など）	7. 川・水路・池のにおい
8. 壁材臭	8. 工事現場・建設現場
9. ペット臭	9. 電車やバスの中
10. エアコンからのにおい	10. 下水のマンホール
11. その他	11. ビル汚水槽（ビルピット）
	12. バキュームカー
	13. 公衆トイレ
	14. 各種製造工場
	15. 下水・し尿処理場
	16. 養牛・養豚・養鶏業
	17. 農業
	18. その他

表4-13 調査項目

《自宅内のおいについて》	《自宅外のおいについて》
・においの種類	・においの種類
・においの強さ	・においの強さ
・気になる程度	・気になる程度
・気になる頻度	・気になる頻度
・継続時間	・継続時間
・においの責任	・においの責任
・我慢できる程度	・我慢できる程度
・においを無くす希望	・においを無くす希望
・自分で講じた対策の有無	・臭気対策の今後の推進者
・対策の内容	
・臭気対策の今後の推進者	

表4-14 数量化Ⅱ類による解析に用いた変数とそのカテゴリー

《目的変数》	
項目	カテゴリー
どのくらい我慢できますか (我慢できる程度)	1. 我慢できない 2. なんとか我慢できる 3. 楽に我慢できる
《説明変数》	
項目 (アイテム)	カテゴリー
においの強さ	1. 非常に強い 2. 弱い 3. あまり感じない
気になる程度	1. 非常に気になる 2. やや気になる 3. あまり気にならない
気になる頻度	1. よくある 2. たまにある 3. ほとんどない
どのくらい続きますか (継続時間)	1. 数時間～一日中 2. 数分間～数十分間 3. 瞬間 4. 決まっていない
においを無くしたいですか (においを無くす希望)	1. 無臭にすべきだ 2. 少しはにおってもよい いつもにおってもよい

それぞれのカテゴリー・ウェイトが与えられる。また、説明変数全体での影響の大きさを表す値として相関比が算出される。カテゴリー・ウェイトは、他のアイテムの影響をすべて取り除いたとき、そのカテゴリーに属することが目的変数に及ぼしている影響の大きさと向きを表わしている。レンジは、それぞれのアイテムにおけるカテゴリー・ウェイトの範囲のことであり、偏相関係数は、0から1までの値をとる標準化された係数である。相関比は、各アイテムの偏相関係数の2乗の合計であり、0から1までの値をとる。なお、数量化Ⅱ類は、説明変数の影響（アイテム

の主効果）のみについての解析方法であり、交互作用は一切考慮されていない点に注意する必要がある。

4-3-5 解析結果および考察

それぞれのにおいの種類についての詳細な解析結果は章末の付録にまとめて示す。これらのレンジおよびカテゴリー・ウェイトから全体的な傾向を把握すると、主に「気になる程度」、「気になる頻度」および「継続時間」が「我慢できる程度」に大きく寄与しており、においが「非常に気になる」、頻度が「よくある」、継続時間が「数時間～一日中」および「数分間～数十分間」の場合に我慢できなくなる方向に作用することになる。

ここでは、特に各アイテムのレンジに注目して考察を行った。図4-14には、各においについての第Ⅰ相関軸のレンジを示すが、8) 工事現場・建設現場を除いて「気になる程度」の寄与が最も大きくなっている。しかし、際立ったものは少なく、4) 飲食店からのにおい、9) 電車やバスの中、11) ビル汚水槽（ビルピット）および17) 農業が目立つ程度である。他のにおいについては、「気になる程度」に続いて「気になる頻度」、「継続時間」あるいは「においの強さ」の寄与が大きくなっているが、8) 工事現場・建設現場では「気になる頻度」が最も大きな寄与となっている。また、「においを無くす希望」の寄与は、どのにおいについても概して小さくなっている。一方、10) 下水のマンホール、12) バキュームカー、13) 公衆トイレおよび15) 下水・し尿処理場については、いずれも「気になる程度」に続いて「継続時間」および「においの強さ」の寄与が大きくなっており、下水・し尿臭の特性が表れているとも考えられる。従来の工場・事業場型の臭気発生源である14) 各種製造工場および16) 養牛・養豚・養鶏業については、「気になる程度」に続いて「気になる頻度」および「継続時間」の寄与が大きくなっているが、ほとんど差はない。これに対して、2) 近所のゴミ焼き臭や4) 飲食店からのにおい、6) ゴミ集積所・収集車のような都市・生活型の臭気発生源については、「気になる程度」の寄与が他のアイテムと比較して大きくなっている。

全体的にみると、「においを無くす希望」の寄与は小さく、「気になる程度」に続いて「気になる頻度」や「継続時間」といった臭気の時間的曝露条件の影響が大きくなっている。住民がにおいを感じてからそれが苦情として発現するまでには、「においを感じる→（気にならない）→気になる→（やや気になる程度）→非常に気になる→（なんとか我慢できる）→我慢できない→（何もしない）→何らかの行動を起こす」というステップを経る¹⁸⁾と考えられるが、これは本解析の結果において、「気になる程度」の寄与が最も大きかったことからもうかがわれる。また、このようなステップにおいて、「気になる頻度」や「継続時間」などの時間的影響因

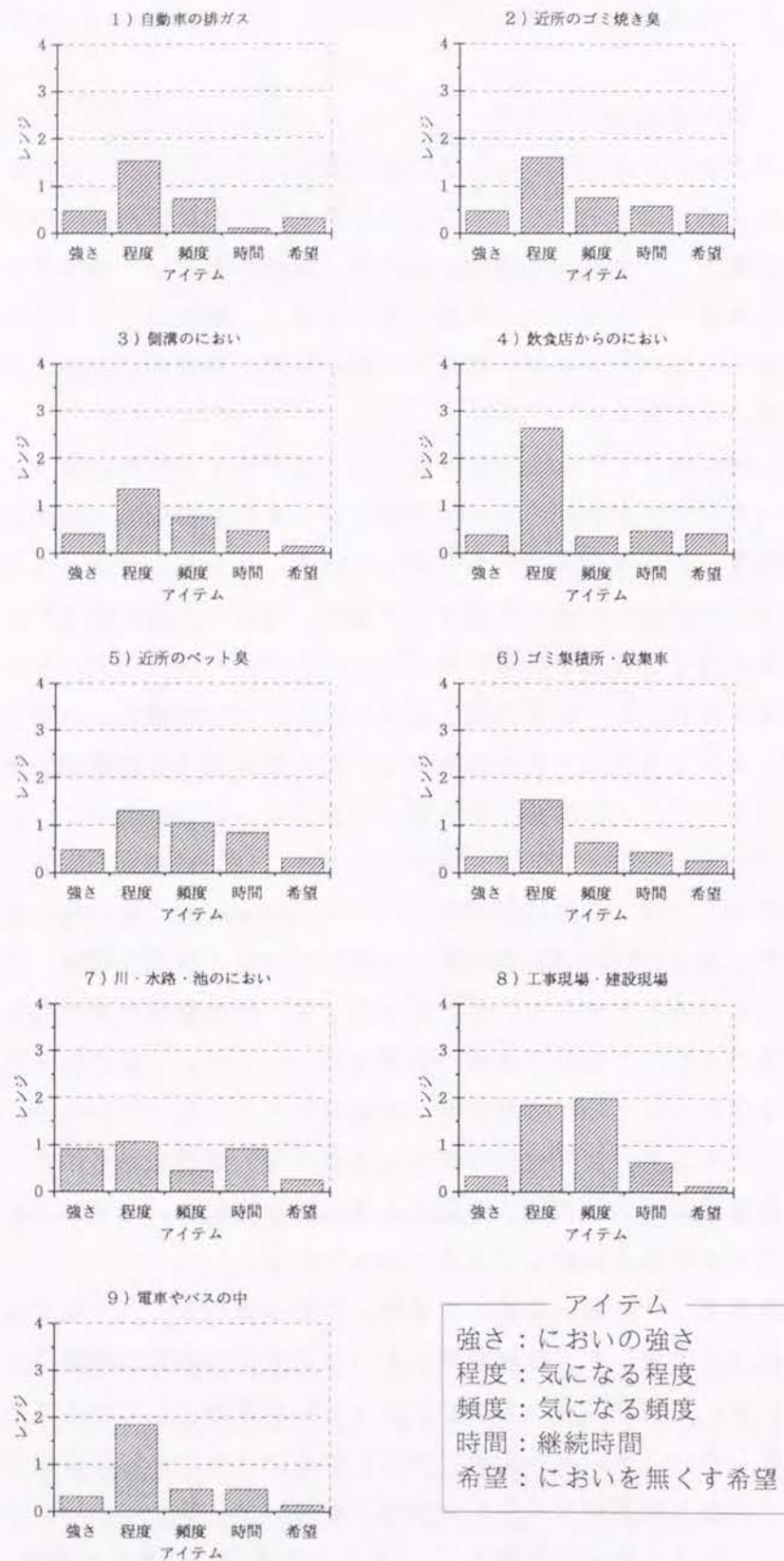


図4-14 各においについての第I相関軸のレンジ（その1）

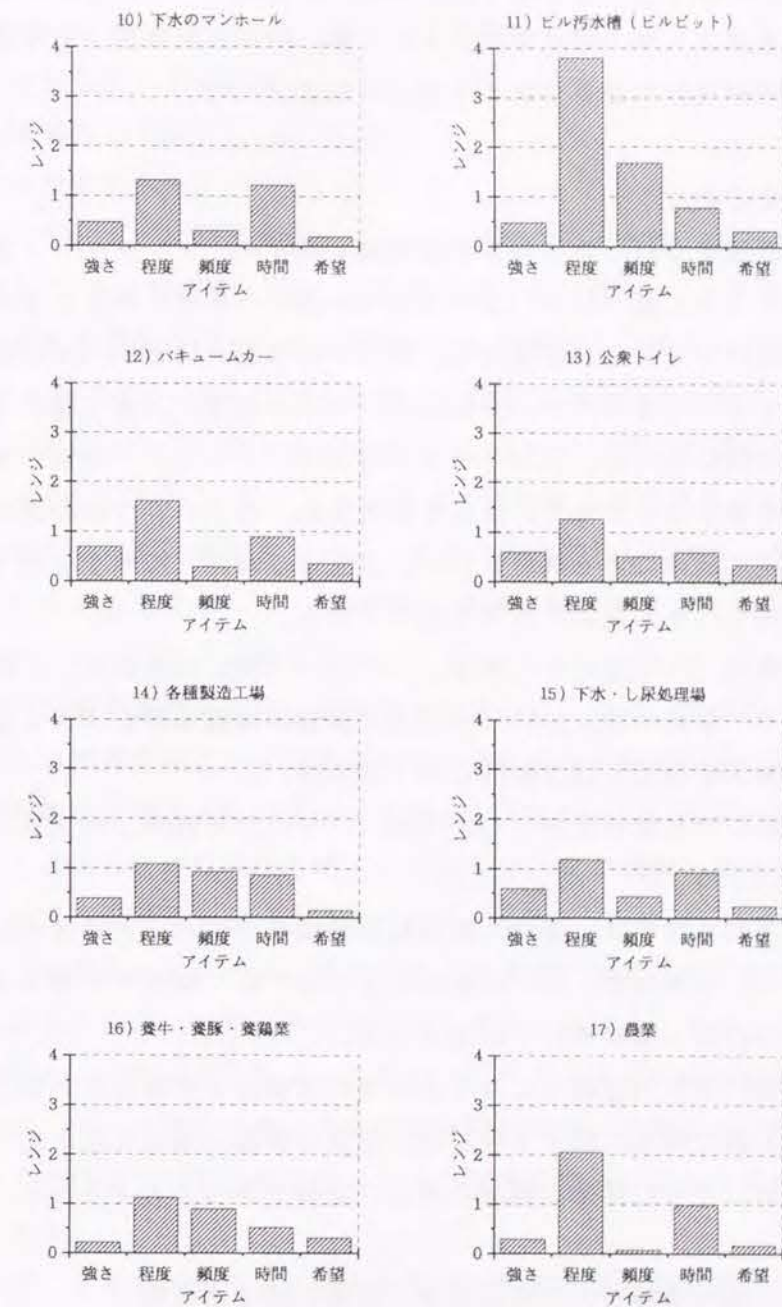


図4-14 （その2）

子が大きく寄与することも示唆された。しかし、現在の悪臭防止法における規制基準は臭気強度と物質濃度の関係に基づいて設定されたものであり、このような臭気の時間的曝露条件はほとんど考慮されていない。したがって、今回の調査項目にあった「気になる頻度」や「継続時間」をはじめ、時間的影響因子を考慮したうえで悪臭の評価・規制を行う必要があると考えられる。

4-3-6 まとめ

本節では、環境庁が行った平成3年度環境モニター・アンケート「悪臭問題について」の調査データに基づいて、生活環境中の種々の臭気に対する住民の知覚特性や臭気の曝露条件などについて検討し、悪臭の被害感と認容レベルに係わる影響因子を明らかにすることを試みた。すなわち、苦情の発現に大きく関与すると考えられる臭気の認容性に注目し、アンケートの調査項目のうち、「我慢できる程度」が臭気の認容性を表すものと考え、これを目的変数、他のいくつかの調査項目を説明変数として数量化Ⅱ類による解析を行い、臭気の認容性に関与する因子の把握を行った。本節で得られた知見は、以下の通りである。

- 1) 臭気の認容性（「我慢できる程度」）には、「気になる程度」に続いて「気になる頻度」や「継続時間」といった臭気の時間的曝露条件が大きく影響しており、「においを無くす希望」は全般的に寄与が小さい。
- 2) 都市・生活型の臭気発生源については、「気になる程度」が臭気の認容性に大きく影響している。
- 3) 現在の悪臭防止法では、臭気の時間的曝露条件がほとんど考慮されていないことから、「気になる頻度」や「継続時間」をはじめ、時間的影響因子を考慮したうえで悪臭の評価・規制を行う必要がある。

本解析の結果、臭気の認容性に対する時間的影響因子の重要性が明らかになったが、悪臭苦情の発生構造に関する検討は、悪臭の評価・規制のあり方に直接係わるものであるため、さらに詳細な検討の継続が必要であると考えられる。

第4節 三点比較式臭袋法の問題点とその改善に関する考察

第3章で述べたように、三点比較式臭袋法は昭和47年に東京都によって提案され、その後、多くの自治体において悪臭の規制に採用されてきた。また、環境庁においても、悪臭防止法の改正による官能試験法の導入に際して、三点比較式臭袋法を基本とした方法によって臭気指数を測定することとしている（章末資料参照）。このように、自治体のみならず、国としても三点比較式臭袋法を積極的に活用していく状況にあるが、従来から三点比較式臭袋法に対する様々な問題点が指摘されており、未だに確立した方法とはいえないのが実状である。そこで本節では、三点比較式臭

袋法の様々な問題点を抽出するとともに、その改善策について若干の考察を行った。

三点比較式臭袋法の測定値のばらつきに大きく影響する要因としては、大きく分けて以下の4点が挙げられる²²⁾。

- ① パネルの嗅力の偏り
- ② 試料臭気の希釈精度の不安定性
- ③ 試料臭気の嗅ぎ方の不統一
- ④ まぐれ当りの確率の大きさ

まず①について、三点比較式臭袋法におけるパネルの人数は、原則として6人以上となっている²³⁾が、西田ら²⁴⁾は、実際の嗅力分布のデータ²⁵⁾を用いてパネルの人数と得られる臭気濃度のばらつきの関係について検討し、得られる臭気濃度の90%以上が1オーダー内に入るにはパネルとして10名以上が必要であり、これらの必要人数は臭気の質によっても異なると指摘した。また、パネルの選定にはT&Tオルファクトメータ²⁶⁾が用いられることになっているが、基準臭とされている5物質は、なるべく幅広いにおい質をカバーし、多くの人々にわかりやすい物質として経験的に選定されたものであり²⁷⁾、生理学的・精神物理学的観点から嗅力測定の方法として妥当であるかどうかは疑問である。

②については、試料臭気の希釈・調製操作がオペレータに一任されていることから、オペレータの資質を向上させるとともに、希釈操作の装置化を含めて使用器具の改良や測定手順の改善などを行う必要があると考えられる。実際、環境庁では、悪臭防止法改正による官能試験法の導入にあわせて、臭気指数の測定を委託できる者として臭気判定士の制度を設けることにしている。

③の試料臭気の嗅ぎ方としては、臭気の吸入量や吸入速度などが挙げられるが、三点比較式臭袋法の測定上、特に規定されている項目はなく、すべて各パネルの判断に委ねられているのが現状である。しかし、これらは臭気の判定に直接影響を及ぼす要因であり、特に未解明である臭気の吸入時間や吸入回数などの時間的因子を中心とした吸入条件について把握することが不可欠である。これらの点に関しては、第5章で検討する。

④については、三点比較式臭袋法の測定原理の根幹に係わる問題であり、様々な観点から検討が行われてきた。現在、三点比較式臭袋法には、環境（敷地境界）における測定方法と排出口における測定方法の2種類があるが、環境（敷地境界）における測定方法では、同一の希釈倍数の試料について6人以上のパネルが3回以上繰り返して判定を行い、合計18個以上の回答において、平均正解率が0.58となる希釈倍数をもって当該試料臭気の臭気濃度とすることになっている。ここで、0.58という数値は、三点比較式臭袋法が開発された当時、希釈倍数 x と正解率 y の関係を、

$$y = \frac{2}{3} \exp \{ - (ax)^n \} + \frac{1}{3} \quad (4-2)$$

a, n: 定数

という関数で近似し、測定データを回帰分析して臭気濃度を求める際の利便性から決定された^{23) 28)}ものであり、理論的根拠は存在しない。また、当時の回帰分析によって算出する方法とは異なり、現在は、

$$Y = 10 \log \{ M \times 10^{(r_1 - 0.58) / (r_1 - r_0)} \} \quad (4-3)$$

Y: 臭気指数

M: 平均正解率が0.58以上の場合における選定操作に係る希釈倍数のうち最大のもの

r₁: 希釈倍数Mに係る平均正解率

r₀: 希釈倍数10Mに係る平均正解率

という式によって、直線近似に基づいて臭気指数を算出するようになっているため、平均正解率を0.58と設定する必然性はない。西田ら²⁹⁾は、さらに嗅力分布を考慮して環境（敷地境界）における測定方法について検討し、(4-3)式は、臭気の希釈倍数と三点比較式臭袋法の正解率との関係を表すものとはみなしがたいとしている。

一方、排出口における測定方法では、6人以上のパネルについて下降法による測定を行い、パネル全員が正解でなくなるまで希釈操作を続けることになっている。しかし、各希釈段階においては各パネル1回の判定しか行わないために、各人の嗅力を超えた高い希釈段階に対しても1/3の確率でまぐれ当たりする可能性が存在する。この点に関して西田ら²²⁾は、パネル人数と各希釈段階における判定回数様々な組合せについて、まぐれ当たりの確率の95%信頼区間を算出した結果、まぐれ当たりが1/3の確率で起こる場合ではパネル数を増やしても95%信頼区間の幅はあまり狭くならず、各パネルに2～3回繰り返して判定を行わせ、そのいずれにも適中した場合を「正解」とする方が、測定結果の信頼性の点から適切であると述べている。この方法は、東大阪市の悪臭公害防止指導要項³⁰⁾に反映されており、測定方法自体に起因する誤差を極力減少させるという点で有効な改善策であると考えられる。

このように、環境（敷地境界）と排出口の各々の測定方法に関して問題点が存在するが、そもそも同じ臭気を測定するにもかかわらず、採取場所によって異なる測定方法を用いること自体が極めて不合理であり²²⁾、環境（敷地境界）の方法と排出口の方法を統一させることが重要な課題の一つであると考えられる²⁹⁾。このような

測定方法の違いは、環境（敷地境界）における臭気指数が低く、三点比較式臭袋法の測定限界（臭気指数10）付近が問題になることが多いという点に起因する²³⁾が、測定データを一律に扱うことができるようにするためにも改善が必要である。また、本章第2節において、悪臭苦情の有無と臭気指数の関係について検討したが、苦情「有り」の場合の臭気指数として10以下の測定結果が非常に多く、苦情の発生には臭気指数10以下の臭気が大きく影響することが考えられた。したがって、苦情の発生と臭気指数の対応関係を把握するためにも、臭気指数10以下の測定を可能にするように手法の改善を行う必要がある。

以上のように、三点比較式臭袋法に関する多くの問題点を明らかにし、それに対する若干の改善策についても考察した。しかし、感覚的測定方法である三点比較式臭袋法の信頼性をさらに向上させるためには、パネルとなる人間自体の嗅感覚特性を把握し、それを測定手法に反映させていくことが不可欠である。この点に関しては、第5章および第6章で検討する。

第5節 結語

悪臭防止法の制定に際しては、人間の嗅覚を用いる官能試験法ではなく、機器分析による指定悪臭物質の濃度規制が採用された。しかし、法制定当初から、物質濃度測定に基づいた悪臭規制の限界が指摘され、多くの自治体で官能試験法による独自の悪臭規制が導入されてきた。このような中で、環境庁においても官能規制の必要性を認識し、悪臭防止法の改正によって新たに三点比較式臭袋法による規制が行われることになったが、その規制基準の設定において、悪臭公害の発生状況が十分反映されているかどうかは疑問であり、また三点比較式臭袋法の測定方法自体も確立したものとはいえず、さらに詳細な検討を行ったうえで改良を加える必要があると考えられる。そこで本章では、従来の悪臭評価・規制方法の問題点を把握し、悪臭苦情に対応した官能規制導入に向けての改善策を得るために種々の検討を行い、以下の知見を得た。

第2節では、過去10年間にわたって各地方自治体で測定された悪臭現場での三点比較式臭袋法によるデータの解析を行い、臭気指数、臭気強度、機器測定による物質濃度および悪臭苦情の有無などの各項目相互の関係について考察し、従来の物質濃度規制の問題点を把握するとともに、官能規制導入のための基礎資料を得ることを試みた。得られた知見は、以下の通りである。

1) 機器分析による濃度測定物質と測定件数を集計した結果、指定悪臭物質以外の未規制物質で濃度測定が行われたものは76物質にのぼり、現行の物質濃度規制のもとで指定悪臭物質を追加することには限界がある。

- 2) 閾希釈倍数最大物質の濃度と試料臭気の臭気強度の関係について回帰分析を行った結果、回帰が有意であったものは非常に少なく、業種や物質に系統的な傾向も認められなかったことから、単成分系での物質濃度と臭気強度の関係から算定された現行の規制基準値を、多成分の複合系として存在する実際の悪臭に対して適用することは困難であり、各指定悪臭物質の濃度規制では種々の業種から発生する悪臭を総合的に評価することはできない。
- 3) 閾希釈倍数最大物質の濃度と試料臭気の臭気指数の関係について回帰分析を行った結果、回帰が有意であったものは非常に少なく、物質濃度測定値と官能試験による臭気指数測定結果とは一義的には対応しない。この原因としては、様々な臭気成分の相互作用の影響が考えられるが、換言すれば、臭気指数は物質濃度とは異なり、種々の臭気成分に対する人間の感覚的応答を全体としてとらえることができる一つの指標であるといえる。
- 4) 臭気指数と臭気強度の関係について回帰分析を行った結果、回帰式の傾きが業種によって異なり、発生臭気の特徴を反映していると考えられることから、臭気指数による悪臭の評価・規制を行う際には、このような業種による特性の違いを考慮することが不可欠である。
- 5) 苦情「有り」と記入されていたデータの環境（敷地境界）における臭気強度の25%値、50%値（中央値）および75%値を算出した結果、25%値および50%値の大部分が臭気強度2.5以下であったことから、現在の悪臭防止法における規制基準設定に対する基本的考え方である臭気強度2.5から3.5という範囲は実際の苦情発生状況と対応しているとはいえず、再検討が必要である。また、同様に苦情「有り」と記入されていたデータの環境（敷地境界）における臭気指数の25%値、50%値および75%値を算出した結果、25%値ではほとんどが臭気指数10以下であったことから、苦情の発生には臭気指数10以下の臭気が大きく影響すると考えられ、測定方法の改善を含めて三点比較式臭袋法に関する検討が必要である。

第3節では、環境モニター・アンケートによる調査データに基づいて、生活環境中の種々の臭気に対する住民の知覚特性や臭気の曝露条件などについて検討し、悪臭の被害感と認容レベルに係わる影響因子を明らかにすることを試みた。すなわち、苦情の発現に大きく関与すると考えられる臭気の認容性に注目し、アンケートの調査項目のうち、「我慢できる程度」が臭気の認容性を表すものと考え、これを目的変数、他のいくつかの調査項目を説明変数として数量化Ⅱ類による解析を行い、臭気の認容性に関与する因子の把握を行った。得られた知見は、以下の通りである。

- 1) 臭気の認容性（「我慢できる程度」）には、「気になる程度」に続いて「気になる頻度」や「継続時間」といった臭気の時間的曝露条件が大きく影響しており、

「においを無くす希望」は全般的に寄与が小さい。

- 2) 都市・生活型の臭気発生源については、「気になる程度」が臭気の認容性に大きく影響している。
- 3) 現在の悪臭防止法では、臭気の時間的曝露条件がほとんど考慮されていないことから、「気になる頻度」や「継続時間」をはじめ、時間的影響因子を考慮したうえで悪臭の評価・規制を行う必要がある。

第4節では、悪臭の感覚的評価方法として各自治体において広く採用されている三点比較式臭袋法の問題点を抽出するとともに、その改善に関する若干の考察を行った。得られた知見は、以下の通りである。

- 1) 現在のパネル人数の決定およびパネル選定方法は、根拠が曖昧であり、妥当性には疑問がある。
- 2) 試料臭気の希釈・調製操作の安定性を確保するために、オペレータの資質を向上させるとともに、希釈操作の装置化を含めて使用器具の改良や測定手順の改善などを行う必要がある。
- 3) 試料臭気の嗅ぎ方は、臭気の判定に直接影響を及ぼす要因であり、特に臭気の吸入時間や吸入回数などの時間的因子を中心とした吸入条件について把握することが不可欠である。
- 4) 環境（敷地境界）における測定方法の平均正解率の判断基準となっている0.58という数値には、理論的根拠がない。
- 5) 排出口における測定では、同一希釈倍数で各パネルに2～3回繰り返して判定を行わせ、そのいずれにも適中した場合を「正解」とする方法が、測定結果の信頼性の点から適切であり、測定方法自体に起因する誤差を極力減少させるという点で有効な改善策である。
- 6) 同じ臭気を測定するにもかかわらず、環境（敷地境界）と排出口で異なる測定方法を用いることは極めて不合理であり、測定データを一律に扱うことができるようにし、苦情の発生と臭気指数の対応関係を把握するためにも、臭気指数10以下の測定を可能にするように手法の改善を行い、両方法を統一させることが不可欠である。

以上のように、本章では従来の悪臭評価・規制方法の様々な問題点を明らかにし、官能規制導入に向けての方向性を示すことができた。しかし、人間の感覚としての不快性に起因する悪臭公害の適切な評価・規制のためには、人間の様々な嗅覚特性を把握し、それを反映させることが不可欠である。この点に関して、さらに第5章および第6章で検討する。

参考文献

- 1) 環境庁大気保全局特殊公害課監修，悪臭法令研究会編著：ハンドブック悪臭防止法，292-297，ぎょうせい，東京（1993）
- 2) 1) の36-65
- 3) 山本進一：改正悪臭防止法について，臭気の研究，26，226-228（1995）
- 4) 環境庁大気保全局特殊公害課：昭和52年度官能試験法調査報告書（1978）
- 5) 環境庁大気保全局特殊公害課：昭和53年度悪臭評価判定調査結果報告書（1979）
- 6) 環境庁大気保全局特殊公害課：昭和54年度悪臭評価判定調査結果報告書（1980）
- 7) 環境庁大気保全局特殊公害課：昭和55年度悪臭評価判定調査結果報告書（1981）
- 8) 環境庁大気保全局特殊公害課：昭和56年度官能試験法調査報告書（1982）
- 9) 樋口隆哉，西田耕之助：嗅覚における三叉神経の役割とその受容機構，臭気の研究，25，149-158（1994）
- 10) 永田好男，竹内教文：三点比較式臭袋法による臭気物質の閾値測定結果，日本環境衛生センター所報，17，77-89（1990）
- 11) 臭気対策研究協会 平成6年度官能試験法に関する検討会資料（1995）
- 12) 武藤真介著：計量心理学，10-25，朝倉書店，東京（1982）
- 13) 1) の414-416
- 14) 石黒辰吉：臭気強度の測定について（提言），臭気の研究，26，316-324（1995）
- 15) 日本環境衛生センター：官能試験法指導基準策定の基礎調査報告書（1982）
- 16) 環境庁長官官房総務課環境調査官：平成3年度環境モニター・アンケート「悪臭問題について」の調査結果（1992）
- 17) 前川清三郎：環境モニターアンケート「悪臭問題について」の調査結果，臭気の研究，23，314-322（1992）
- 18) 藤倉まなみ：臭気に対する意識傾向－臭気に関する意識調査結果より－，P P M，23（12），42-51（1992）
- 19) 田中豊，垂水共之，脇本和昌編：パソコン統計解析ハンドブックII多変量解析編，270-295，共立出版，東京（1984）
- 20) 古谷野亘著：数学が苦手な人のための多変量解析ガイド，114-125，川島書店，東京（1988）
- 21) 池田央編：統計ガイドブック，178，新曜社，東京（1989）
- 22) 西田耕之助，柳橋泰生，山川正信：三点比較臭袋法による臭気濃度の算出，環境技術，15，331-336（1986）
- 23) 岩崎好陽著：臭気官能試験法－改訂版－三点比較式臭袋法測定マニュアル，臭気対策研究協会，東京（1993）
- 24) 西田耕之助，増田淳二：悪臭の感覚的測定における三点比較臭袋法の検討（2）排出口測定の方法について，環境技術，16，332-338（1987）
- 25) 豊田文一，北村武，高木貞敬編：嗅覚障害－その測定と治療－，125-139，医学書院，東京（1978）
- 26) 25) の1-14
- 27) 25) の120-125
- 28) 東京都公害研究所：悪臭の評価（1972）
- 29) 西田耕之助，増田淳二，山川正信：悪臭の感覚的測定における三点比較臭袋法の検討（1）環境測定の方法について，環境技術，15，956-967（1986）
- 30) 東大阪市悪臭規制技術検討会：官能試験法の導入に関する報告書（1987）

付表-1 「自動車の排ガス」の数量化Ⅱ類による解析結果

アイテム	カテゴリー	データ数	第Ⅰ相関軸			第Ⅱ相関軸		
			対ゴリ・ウェイト	レンジ	偏相関係数	対ゴリ・ウェイト	レンジ	偏相関係数
においの強さ	1.非常に強い	132	-0.331	0.485	0.145	-0.476	0.662	0.076
	2.弱い	255	0.153			0.186		
	3.あまり感じない	207	0.022			0.074		
気になる程度	1.非常に気になる	122	-0.791	1.520	0.300	-1.455	2.243	0.255
	2.やや気になる	240	-0.302			0.788		
	3.あまり気にならない	232	0.728			-0.051		
気になる頻度	1.よくある	160	-0.265	0.737	0.165	0.750	1.482	0.200
	2.たまにある	263	-0.145			0.020		
	3.ほとんどない	171	0.471			-0.732		
どのくらい続きますか (継続時間)	1.数時間～一日中	79	-0.026	0.105	0.032	0.004	0.409	0.055
	2.数分間～数十分間	129	-0.067			-0.195		
	3.瞬間	120	0.005			0.214		
	4.決まっていない	266	0.038			-0.003		
においを無くしたいですか (においを無くす希望)	1.無臭にすべきだ	380	-0.118	0.328	0.135	-0.077	0.214	0.043
	2.少しはにおってもよい いつもにおってもよい	214	0.210			0.137		
どのくらい我慢できますか (我慢できる程度)	1.我慢できない	53	-1.196	相関比	0.432	-1.032	相関比	0.154
	2.なんとか我慢できる	341	-0.318			0.281		
	3.楽に我慢できる	200	0.856			-0.205		

付表-2 「近所のゴミ焼き臭」の数量化Ⅱ類による解析結果

アイテム	カテゴリー	データ数	第Ⅰ相関軸			第Ⅱ相関軸		
			対ゴリ・ウェイト	レンジ	偏相関係数	対ゴリ・ウェイト	レンジ	偏相関係数
においの強さ	1.非常に強い	73	-0.412	0.482	0.078	-0.739	1.065	0.122
	2.弱い	240	0.028			0.326		
	3.あまり感じない	335	0.070			-0.072		
気になる程度	1.非常に気になる	73	-1.153	1.606	0.263	-1.119	2.133	0.255
	2.やや気になる	205	-0.407			1.014		
	3.あまり気にならない	370	0.453			-0.341		
気になる頻度	1.よくある	56	-0.576	0.751	0.103	0.132	0.352	0.071
	2.たまにある	298	-0.064			0.162		
	3.ほとんどない	294	0.175			-0.189		
どのくらい続きますか (継続時間)	1.数時間～一日中	61	-0.442	0.569	0.111	0.098	0.206	0.029
	2.数分間～数十分間	171	-0.116			-0.108		
	3.瞬間	46	0.002			0.053		
	4.決まっていない	370	0.126			0.027		
においを無くしたいですか (においを無くす希望)	1.無臭にすべきだ	283	-0.229	0.406	0.145	-0.099	0.175	0.039
	2.少しはにおってもよい いつもにおってもよい	365	0.177			0.077		
どのくらい我慢できますか (我慢できる程度)	1.我慢できない	29	-1.816	相関比	0.355	-1.433	相関比	0.170
	2.なんとか我慢できる	327	-0.348			0.330		
	3.楽に我慢できる	292	0.570			-0.228		

付表-3 「側溝のにおい」の数量化Ⅱ類による解析結果

アイテム	カテゴリー	データ数	第Ⅰ相関軸			第Ⅱ相関軸		
			対ゴリ・ウェイト	レンジ	偏相関係数	対ゴリ・ウェイト	レンジ	偏相関係数
においの強さ	1.非常に強い	56	0.315	0.417	0.059	-1.091	1.425	0.103
	2.弱い	238	0.078			0.334		
	3.あまり感じない	353	-0.103			-0.052		
気になる程度	1.非常に気になる	60	0.899	1.353	0.248	-0.199	0.573	0.061
	2.やや気になる	198	0.620			0.374		
	3.あまり気にならない	389	-0.454			-0.159		
気になる頻度	1.よくある	57	0.543	0.759	0.112	-0.377	0.929	0.120
	2.たまにある	259	0.157			0.552		
	3.ほとんどない	331	-0.217			-0.367		
どのくらい続きますか (継続時間)	1.数時間～一日中	79	0.370	0.479	0.118	-1.199	1.491	0.138
	2.数分間～数十分間	57	0.364			0.292		
	3.瞬間	85	-0.040			-0.218		
	4.決まっていない	426	-0.109			0.237		
においを無くしたいですか (においを無くす希望)	1.無臭にすべきだ	469	0.043	0.155	0.052	-0.102	0.371	0.054
	2.少しはにおってもよい いつもにおってもよい	178	-0.113			0.269		
どのくらい我慢できますか (我慢できる程度)	1.我慢できない	38	1.316	相関比	0.367	-1.050	相関比	0.098
	2.なんとか我慢できる	307	0.438			0.239		
	3.楽に我慢できる	302	-0.611			-0.111		

付表-4 「飲食店からのにおい」の数量化Ⅱ類による解析結果

アイテム	カテゴリー	データ数	第Ⅰ相関軸			第Ⅱ相関軸		
			対ゴリ・ウェイト	レンジ	偏相関係数	対ゴリ・ウェイト	レンジ	偏相関係数
においの強さ	1.非常に強い	42	-0.320	0.391	0.051	-0.802	1.140	0.098
	2.弱い	119	-0.055			0.337		
	3.あまり感じない	281	0.071			-0.023		
気になる程度	1.非常に気になる	30	-2.264	2.643	0.307	-1.327	2.595	0.260
	2.やや気になる	103	-0.476			1.268		
	3.あまり気にならない	309	0.378			-0.294		
気になる頻度	1.よくある	45	-0.313	0.362	0.049	0.228	0.257	0.027
	2.たまにある	127	0.007			-0.018		
	3.ほとんどない	270	0.049			-0.029		
どのくらい続きますか (継続時間)	1.数時間～一日中	44	-0.410	0.486	0.084	0.198	0.767	0.101
	2.数分間～数十分間	58	0.040			0.627		
	3.瞬間	60	-0.093			-0.100		
	4.決まっていない	280	0.076			-0.140		
においを無くしたいですか (においを無くす希望)	1.無臭にすべきだ	155	-0.278	0.428	0.146	-0.074	0.114	0.022
	2.少しはにおってもよい いつもにおってもよい	287	0.150			0.040		
どのくらい我慢できますか (我慢できる程度)	1.我慢できない	15	-2.500	相関比	0.345	-1.245	相関比	0.150
	2.なんとか我慢できる	175	-0.344			0.421		
	3.楽に我慢できる	252	0.388			-0.218		

付表-5 「近所のペット臭」の数量化Ⅱ類による解析結果

アイテム	カテゴリー	件数	第Ⅰ相関軸			第Ⅱ相関軸		
			対ゴリ・ウェイト	レンジ	偏相関係数	対ゴリ・ウェイト	レンジ	偏相関係数
においの強さ	1.非常に強い	48	-0.367	0.478	0.081	-0.667	0.738	0.060
	2.弱い	127	-0.178			0.049		
	3.あまり感じない	363	0.111			0.071		
気になる程度	1.非常に気になる	57	-1.006	1.301	0.198	0.168	1.599	0.214
	2.やや気になる	118	-0.423			1.187		
	3.あまり気にならない	363	0.295			-0.412		
気になる頻度	1.よくある	55	-0.873	1.045	0.155	-0.951	1.529	0.119
	2.たまにある	129	-0.099			0.578		
	3.ほとんどない	354	0.172			-0.063		
どのくらい続きますか (継続時間)	1.数時間～一日中	49	-0.226	0.840	0.155	-0.522	0.920	0.068
	2.数分間～数十分間	33	-0.628			0.397		
	3.瞬間	78	0.211			0.133		
	4.決まっていない	378	0.041			0.006		
においを無くしたいですか (においを無くす希望)	1.無臭にすべきだ	272	-0.155	0.314	0.136	-0.223	0.451	0.088
	2.少しはにおってもよい いつもにおってもよい	266	0.159			0.228		
どのくらい我慢できますか (我慢できる程度)	1.我慢できない	45	-1.699	相関比	0.441	-0.755	相関比	0.129
	2.なんとか我慢できる	207	-0.363			0.410		
	3.楽に我慢できる	286	0.530			-0.178		

付表-6 「ゴミ集積所・収集車」の数量化Ⅱ類による解析結果

アイテム	カテゴリー	件数	第Ⅰ相関軸			第Ⅱ相関軸		
			対ゴリ・ウェイト	レンジ	偏相関係数	対ゴリ・ウェイト	レンジ	偏相関係数
においの強さ	1.非常に強い	139	-0.222	0.341	0.061	0.417	0.580	0.093
	2.弱い	289	-0.005			-0.049		
	3.あまり感じない	271	0.120			-0.162		
気になる程度	1.非常に気になる	119	-0.912	1.542	0.239	-1.502	2.283	0.293
	2.やや気になる	291	-0.253			0.781		
	3.あまり気にならない	289	0.630			-0.169		
気になる頻度	1.よくある	117	-0.294	0.637	0.140	-0.311	0.635	0.127
	2.たまにある	328	-0.161			0.324		
	3.ほとんどない	254	0.343			-0.274		
どのくらい続きますか (継続時間)	1.数時間～一日中	82	-0.336	0.446	0.099	-0.488	0.646	0.092
	2.数分間～数十分間	174	-0.039			0.158		
	3.瞬間	148	0.013			0.061		
	4.決まっていない	285	0.110			0.012		
においを無くしたいですか (においを無くす希望)	1.無臭にすべきだ	425	-0.106	0.271	0.109	-0.088	0.226	0.056
	2.少しはにおってもよい いつもにおってもよい	274	0.165			0.137		
どのくらい我慢できますか (我慢できる程度)	1.我慢できない	53	-1.339	相関比	0.415	-1.290	相関比	0.211
	2.なんとか我慢できる	420	-0.285			0.315		
	3.楽に我慢できる	226	0.844			-0.282		

付表-7 「川・水路・池のにおい」の数量化Ⅱ類による解析結果

アイテム	カテゴリー	件数	第Ⅰ相関軸			第Ⅱ相関軸		
			対ゴリ・ウェイト	レンジ	偏相関係数	対ゴリ・ウェイト	レンジ	偏相関係数
においの強さ	1.非常に強い	60	-0.782	0.920	0.177	-0.312	0.378	0.032
	2.弱い	170	0.018			0.066		
	3.あまり感じない	318	0.138			0.023		
気になる程度	1.非常に気になる	61	-0.707	1.080	0.212	-1.303	2.079	0.176
	2.やや気になる	156	-0.516			0.775		
	3.あまり気にならない	331	0.373			-0.125		
気になる頻度	1.よくある	60	-0.280	0.450	0.092	0.194	1.079	0.164
	2.たまにある	180	-0.197			0.657		
	3.ほとんどない	308	0.170			-0.422		
どのくらい続きますか (継続時間)	1.数時間～一日中	73	-0.323	0.925	0.175	-0.875	1.192	0.119
	2.数分間～数十分間	33	-0.786			-0.166		
	3.瞬間	57	0.139			0.317		
	4.決まっていない	385	0.108			0.133		
においを無くしたいですか (においを無くす希望)	1.無臭にすべきだ	348	-0.093	0.256	0.106	-0.132	0.361	0.068
	2.少しはにおってもよい いつもにおってもよい	200	0.163			0.229		
どのくらい我慢できますか (我慢できる程度)	1.我慢できない	34	-1.450	相関比	0.408	-1.156	相関比	0.134
	2.なんとか我慢できる	248	-0.458			0.305		
	3.楽に我慢できる	266	0.613			-0.137		

付表-8 「工事現場・建設現場」の数量化Ⅱ類による解析結果

アイテム	カテゴリー	件数	第Ⅰ相関軸			第Ⅱ相関軸		
			対ゴリ・ウェイト	レンジ	偏相関係数	対ゴリ・ウェイト	レンジ	偏相関係数
においの強さ	1.非常に強い	25	0.251	0.320	0.058	0.413	1.419	0.202
	2.弱い	72	0.144			1.058		
	3.あまり感じない	239	-0.070			-0.362		
気になる程度	1.非常に気になる	20	-1.561	1.845	0.243	-0.356	1.016	0.118
	2.やや気になる	70	-0.553			0.661		
	3.あまり気にならない	246	0.284			-0.159		
気になる頻度	1.よくある	20	-1.746	1.992	0.251	-1.221	1.499	0.128
	2.たまにある	81	-0.282			0.278		
	3.ほとんどない	235	0.246			0.008		
どのくらい続きますか (継続時間)	1.数時間～一日中	24	-0.536	0.639	0.134	-1.487	1.958	0.169
	2.数分間～数十分間	31	-0.398			-0.052		
	3.瞬間	36	-0.000			0.471		
	4.決まっていない	245	0.103			0.083		
においを無くしたいですか (においを無くす希望)	1.無臭にすべきだ	164	-0.066	0.129	0.053	-0.134	0.262	0.059
	2.少しはにおってもよい いつもにおってもよい	172	0.063			0.128		
どのくらい我慢できますか (我慢できる程度)	1.我慢できない	15	-2.419	相関比	0.405	-1.095	相関比	0.172
	2.なんとか我慢できる	144	-0.299			0.438		
	3.楽に我慢できる	177	0.448			-0.264		

付表-9 「電車やバスの中」の数量化Ⅱ類による解析結果

アイテム	カテゴリー	デー数	第Ⅰ相関軸			第Ⅱ相関軸		
			対ゴリ・ウェイト	レンジ	偏相関係数	対ゴリ・ウェイト	レンジ	偏相関係数
においの強さ	1.非常に強い	60	-0.286	0.325	0.067	-0.351	0.436	0.033
	2.弱い	245	0.039			0.002		
	3.あまり感じない	244	0.031			0.085		
気になる程度	1.非常に気になる	59	-1.130	1.853	0.311	-1.723	2.317	0.179
	2.やや気になる	221	-0.579			0.594		
	3.あまり気にならない	269	0.723			-0.110		
気になる頻度	1.よくある	87	-0.246	0.480	0.097	0.113	0.516	0.068
	2.たまにある	226	-0.150			0.242		
	3.ほとんどない	236	0.234			-0.274		
どのくらい続きますか (継続時間)	1.数時間～一日中	23	-0.388	0.485	0.066	-0.908	1.368	0.105
	2.数分間～数十分間	137	-0.061			0.459		
	3.瞬間	92	0.096			0.123		
	4.決まっていない	297	0.028			-0.180		
においを無くしたいですか (においを無くす希望)	1.無臭にすべきだ	332	-0.059	0.149	0.054	-0.218	0.551	0.090
	2.少しはにおってもよい いつもにおってもよい	217	0.090			0.333		
どのくらい我慢できますか (我慢できる程度)	1.我慢できない	24	-1.245	相関比	0.365	-1.349	相関比	0.103
	2.なんとか我慢できる	302	-0.420			0.186		
	3.楽に我慢できる	223	0.703			-0.107		

付表-10 「下水のマンホール」の数量化Ⅱ類による解析結果

アイテム	カテゴリー	デー数	第Ⅰ相関軸			第Ⅱ相関軸		
			対ゴリ・ウェイト	レンジ	偏相関係数	対ゴリ・ウェイト	レンジ	偏相関係数
においの強さ	1.非常に強い	47	-0.339	0.486	0.095	0.056	0.896	0.107
	2.弱い	92	-0.243			0.655		
	3.あまり感じない	261	0.147			-0.241		
気になる程度	1.非常に気になる	45	-1.058	1.322	0.216	-0.629	1.693	0.180
	2.やや気になる	86	-0.271			1.064		
	3.あまり気にならない	269	0.264			-0.235		
気になる頻度	1.よくある	33	0.043	0.316	0.095	1.036	1.251	0.110
	2.たまにある	107	-0.228			0.203		
	3.ほとんどない	260	0.088			-0.215		
どのくらい続きますか (継続時間)	1.数時間～一日中	43	-1.038	1.217	0.257	-2.178	2.534	0.240
	2.数分間～数十分間	32	-0.406			-0.404		
	3.瞬間	49	0.168			0.173		
	4.決まっていない	276	0.179			0.356		
においを無くしたいですか (においを無くす希望)	1.無臭にすべきだ	269	-0.065	0.200	0.082	-0.064	0.196	0.039
	2.少しはにおってもよい いつもにおってもよい	131	0.134			0.132		
どのくらい我慢できますか (我慢できる程度)	1.我慢できない	40	-1.506	相関比	0.440	-0.770	相関比	0.154
	2.なんとか我慢できる	164	-0.333			0.428		
	3.楽に我慢できる	196	0.586			-0.201		

付表-11 「ビル汚水槽（ビルピット）」の数量化Ⅱ類による解析結果

アイテム	カテゴリー	デー数	第Ⅰ相関軸			第Ⅱ相関軸		
			対ゴリ・ウェイト	レンジ	偏相関係数	対ゴリ・ウェイト	レンジ	偏相関係数
においの強さ	1.非常に強い	12	0.410	0.486	0.114	-0.084	1.306	0.251
	2.弱い	30	-0.076			-0.957		
	3.あまり感じない	85	-0.031			0.350		
気になる程度	1.非常に気になる	7	-3.258	3.808	0.525	3.725	4.444	0.331
	2.やや気になる	40	-0.530			-0.719		
	3.あまり気にならない	80	0.550			0.034		
気になる頻度	1.よくある	6	1.444	1.679	0.308	-3.528	3.813	0.267
	2.たまにある	40	-0.235			0.285		
	3.ほとんどない	81	0.009			0.121		
どのくらい続きますか (継続時間)	1.数時間～一日中	5	-0.636	0.797	0.242	1.456	1.624	0.153
	2.数分間～数十分間	17	-0.636			0.489		
	3.瞬間	17	-0.008			-0.048		
	4.決まっていない	88	0.161			-0.168		
においを無くしたいですか (においを無くす希望)	1.無臭にすべきだ	80	-0.121	0.327	0.166	0.021	0.057	0.015
	2.少しはにおってもよい いつもにおってもよい	47	0.206			-0.036		
どのくらい我慢できますか (我慢できる程度)	1.我慢できない	8	-2.110	相関比	0.541	1.244	相関比	0.233
	2.なんとか我慢できる	50	-0.454			-0.519		
	3.楽に我慢できる	69	0.574			0.232		

付表-12 「バキュームカー」の数量化Ⅱ類による解析結果

アイテム	カテゴリー	デー数	第Ⅰ相関軸			第Ⅱ相関軸		
			対ゴリ・ウェイト	レンジ	偏相関係数	対ゴリ・ウェイト	レンジ	偏相関係数
においの強さ	1.非常に強い	423	-0.174	0.691	0.122	0.169	0.805	0.099
	2.弱い	144	0.197			-0.113		
	3.あまり感じない	87	0.518			-0.636		
気になる程度	1.非常に気になる	355	-0.371	1.621	0.252	-0.456	1.511	0.225
	2.やや気になる	206	0.076			1.011		
	3.あまり気にならない	93	1.249			-0.499		
気になる頻度	1.よくある	155	-0.174	0.289	0.070	-0.368	0.553	0.081
	2.たまにある	397	0.039			0.186		
	3.ほとんどない	102	0.115			-0.165		
どのくらい続きますか (継続時間)	1.数時間～一日中	36	-0.551	0.892	0.178	-1.139	1.575	0.117
	2.数分間～数十分間	370	-0.142			0.091		
	3.瞬間	79	0.187			0.436		
	4.決まっていない	169	0.342			-0.160		
においを無くしたいですか (においを無くす希望)	1.無臭にすべきだ	440	-0.115	0.350	0.132	-0.171	0.523	0.087
	2.少しはにおってもよい いつもにおってもよい	214	0.236			0.352		
どのくらい我慢できますか (我慢できる程度)	1.我慢できない	166	-0.705	相関比	0.406	-0.450	相関比	0.118
	2.なんとか我慢できる	379	-0.062			0.291		
	3.楽に我慢できる	109	1.291			-0.326		

付表-13 「公衆トイレ」の数量化Ⅱ類による解析結果

アイテム	カテゴリー	データ数	第Ⅰ相関軸			第Ⅱ相関軸		
			対ゴリ・ウェイト	レンジ	偏相関係数	対ゴリ・ウェイト	レンジ	偏相関係数
においの強さ	1.非常に強い	281	-0.215	0.597	0.194	-0.157	0.397	0.059
	2.弱い	116	0.381			0.225		
	3.あまり感じない	76	0.213			0.239		
気になる程度	1.非常に気になる	266	-0.306	1.267	0.211	-0.273	1.410	0.183
	2.やや気になる	130	0.056			0.875		
	3.あまり気にならない	77	0.961			-0.535		
気になる頻度	1.よくある	234	-0.116	0.523	0.101	0.225	1.497	0.172
	2.たまにある	160	-0.031			0.275		
	3.ほとんどない	79	0.407			-1.222		
どのくらい続きますか (継続時間)	1.数時間～一日中	141	-0.318	0.598	0.192	-0.607	0.951	0.166
	2.数分間～数十分間	138	-0.063			0.344		
	3.瞬間	55	0.264			0.240		
	4.決まっていない	139	0.280			0.179		
においを無くしたいですか (においを無くす希望)	1.無臭にすべきだ	373	-0.074	0.348	0.130	-0.048	0.229	0.041
	2.少しはにおってもよい いつもにおってもよい	100	0.275			0.181		
どのくらい我慢できますか (我慢できる程度)	1.我慢できない	159	-0.706	相関比	0.477	-0.393	相関比	0.166
	2.なんとか我慢できる	251	0.066			0.381		
	3.楽に我慢できる	63	1.519			-0.527		

付表-14 「各種製造工場」の数量化Ⅱ類による解析結果

アイテム	カテゴリー	データ数	第Ⅰ相関軸			第Ⅱ相関軸		
			対ゴリ・ウェイト	レンジ	偏相関係数	対ゴリ・ウェイト	レンジ	偏相関係数
においの強さ	1.非常に強い	59	-0.307	0.390	0.087	-0.776	1.190	0.180
	2.弱い	140	0.054			0.413		
	3.あまり感じない	128	0.083			-0.094		
気になる程度	1.非常に気になる	58	-0.724	1.081	-0.171	0.248	1.183	0.177
	2.やや気になる	126	-0.071			0.575		
	3.あまり気にならない	143	0.357			-0.607		
気になる頻度	1.よくある	51	-0.543	0.929	0.196	-0.204	0.638	0.105
	2.たまにある	137	-0.189			0.359		
	3.ほとんどない	139	0.386			-0.279		
どのくらい続きますか (継続時間)	1.数時間～一日中	73	-0.445	0.865	0.199	-0.663	0.910	0.145
	2.数分間～数十分間	35	-0.282			0.044		
	3.瞬間	32	0.420			0.026		
	4.決まっていない	187	0.154			0.246		
においを無くしたいですか (においを無くす希望)	1.無臭にすべきだ	210	-0.051	0.144	0.059	-0.239	0.667	0.145
	2.少しはにおってもよい いつもにおってもよい	117	0.092			0.428		
どのくらい我慢できますか (我慢できる程度)	1.我慢できない	35	-1.490	相関比	0.426	-0.742	相関比	0.176
	2.なんとか我慢できる	179	-0.157			0.368		
	3.楽に我慢できる	113	0.710			-0.353		

付表-15 「下水・し尿処理場」の数量化Ⅱ類による解析結果

アイテム	カテゴリー	データ数	第Ⅰ相関軸			第Ⅱ相関軸		
			対ゴリ・ウェイト	レンジ	偏相関係数	対ゴリ・ウェイト	レンジ	偏相関係数
においの強さ	1.非常に強い	57	-0.433	0.600	0.125	-0.040	0.886	0.145
	2.弱い	89	0.040			0.530		
	3.あまり感じない	126	0.167			-0.356		
気になる程度	1.非常に気になる	57	-0.750	1.191	0.222	-0.685	1.103	0.176
	2.やや気になる	86	-0.165			0.418		
	3.あまり気にならない	129	0.441			0.024		
気になる頻度	1.よくある	42	-0.067	0.448	0.152	-0.044	0.797	0.137
	2.たまにある	91	-0.259			0.490		
	3.ほとんどない	139	0.190			-0.307		
どのくらい続きますか (継続時間)	1.数時間～一日中	47	-0.608	0.934	0.241	-0.463	0.751	0.105
	2.数分間～数十分間	33	-0.137			0.289		
	3.瞬間	36	0.327			0.090		
	4.決まっていない	156	0.137			0.058		
においを無くしたいですか (においを無くす希望)	1.無臭にすべきだ	186	-0.078	0.247	0.107	-0.286	0.906	0.203
	2.少しはにおってもよい いつもにおってもよい	86	0.169			0.619		
どのくらい我慢できますか (我慢できる程度)	1.我慢できない	32	-1.302	相関比	0.470	-0.875	相関比	0.197
	2.なんとか我慢できる	142	-0.263			0.389		
	3.楽に我慢できる	98	0.806			-0.278		

付表-16 「養牛・養豚・養鶏業」の数量化Ⅱ類による解析結果

アイテム	カテゴリー	データ数	第Ⅰ相関軸			第Ⅱ相関軸		
			対ゴリ・ウェイト	レンジ	偏相関係数	対ゴリ・ウェイト	レンジ	偏相関係数
においの強さ	1.非常に強い	170	-0.062	0.215	0.088	0.522	1.157	0.178
	2.弱い	88	0.153			-0.322		
	3.あまり感じない	95	-0.031			-0.635		
気になる程度	1.非常に気になる	147	-0.590	1.128	0.334	-0.025	1.689	0.269
	2.やや気になる	99	0.294			0.895		
	3.あまり気にならない	107	0.538			-0.794		
気になる頻度	1.よくある	93	-0.524	0.889	0.260	-0.577	1.033	0.134
	2.たまにある	151	0.059			0.027		
	3.ほとんどない	109	0.365			0.456		
どのくらい続きますか (継続時間)	1.数時間～一日中	109	-0.278	0.521	0.219	-0.402	1.229	0.190
	2.数分間～数十分間	47	-0.158			0.627		
	3.瞬間	36	-0.042			0.827		
	4.決まっていない	161	0.244			-0.096		
においを無くしたいですか (においを無くす希望)	1.無臭にすべきだ	195	-0.138	0.307	0.166	-0.311	0.695	0.160
	2.少しはにおってもよい いつもにおってもよい	158	0.170			0.384		
どのくらい我慢できますか (我慢できる程度)	1.我慢できない	88	-1.158	相関比	0.566	-0.348	相関比	0.189
	2.なんとか我慢できる	174	0.094			0.437		
	3.楽に我慢できる	91	0.939			-0.499		

付表-17 「農業」の数量化Ⅱ類による解析結果

アイテム	カテゴリー	データ数	第Ⅰ相関軸			第Ⅱ相関軸		
			重みづけ	レンジ	偏相関係数	重みづけ	レンジ	偏相関係数
においの強さ	1.非常に強い	52	-0.174	0.297	0.067	0.854	1.206	0.131
	2.弱い	123	-0.126			0.210		
	3.あまり感じない	200	0.123			-0.352		
臭になる程度	1.非常に臭になる	48	-1.570	2.061	0.364	-1.448	2.091	0.232
	2.やや臭になる	112	-0.270			0.643		
	3.あまり臭にならない	215	0.491			-0.012		
臭になる頻度	1.よくある	21	-0.006	0.078	0.023	-0.109	0.571	0.091
	2.たまにある	155	0.044			0.327		
	3.ほとんどない	199	-0.034			-0.243		
どのくらい続きますか (継続時間)	1.数時間～一日中	59	-0.739	0.980	0.256	-1.257	2.415	0.255
	2.数分間～数十分間	37	-0.320			1.158		
	3.瞬間	35	0.241			0.397		
	4.決まっていない	244	0.193			0.071		
においを無くしたいですか (においを無くす希望)	1.無臭にすべきだ	151	-0.104	0.174	0.074	-0.239	0.400	0.084
	2.少しはにおってもよい いつもにおってもよい	224	0.070			0.161		
どのくらい我慢できますか (我慢できる程度)	1.我慢できない	24	-1.828	相関比	0.431	-1.037	相関比	0.157
	2.なんとか我慢できる	169	-0.358			0.380		
	3.楽に我慢できる	182	0.573			-0.216		

第1 パネル

パネル（嗅覚を用いて臭気の有無を判定する者をいう。以下同じ。）には、1の基準臭液を用いた2のパネルの選定方法により、正常な嗅覚を有すると認められた者を充てるものとする。

1 基準臭液

次の5種類とする。

β-フェニルエチルアルコール	$10^{-4.0}$
メチルシクロペンテノロン	$10^{-4.5}$
イソ吉草酸	$10^{-5.0}$
γ-ウンデカラクトン	$10^{-4.5}$
スカトール	$10^{-5.0}$

（注）右欄は無臭の流動パラフィンに対する重量比を表す。

2 パネルの選定方法

- （1）1～5までの番号を記入した試験紙（長さ約14cm、幅約7mmのもの。以下「におい紙」という。）5枚を1組として、任意の2枚のにおい紙を先端約1cmまで基準臭液（1種類）に浸し、残りの3枚を同様に無臭の流動パラフィンに浸す。
- （2）この5枚1組のにおい紙を被験者（18歳以上の者に限る。）に渡し、その中から嗅覚を用いて基準臭液によりにおいを付けた2枚のにおい紙を選ばせる。
- （3）5種類の基準臭液について（1）及び（2）の手順を行い、そのすべてについて正しく回答した者を正常な嗅覚を有するものと認めるものとする。
- （4）上記の試験は、5年以内（40歳以上は3年以内）の期間ごとに受験し、正常な嗅覚を保持していることを確認することを要するものとする。

第2 装置及び器具

装置及び器具は、次に掲げるとおりとする。

1 試料採取装置

（1）環境試料用試料採取装置

次のアからエまでのいずれかに掲げる装置とする。

ア 気密性を有するガラス製の試料採取容器であって、ふっ素樹脂製バルブ及びガラスのすり合わせを有し、容量が10L程度のもの

イ 試料採取用吸引瓶の内側に試料採取用袋を接続した装置であって、次の要件を具備しているもの

（ア）試料ガス採取用吸引器は、内側の試料採取袋が視認でき、気密性を有する構造のもので、容量が10L程度のものであること。

(イ) 試料採取袋は、無臭性のものであって臭気の吸着が少ないポリエステル（化合物名ポリエチレンテレフタレート）フィルム製又はこれと同等以上の保存性能を有する材質によるものであり、内容積が10L程度で、かつ、試料ガス採取用吸引器の形状にあったものであること。

ウ 試料採取用ポンプを経て試料採取袋に試料を採取できる装置であって、次の要件を具備しているもの

(ア) 試料採取用ポンプは、20L/min以上の大気を吸引できる能力を有し、無臭性のもので、臭気の吸着の少ないものであること。

(イ) 試料採取袋は、第2の1の(1)のイの(イ)に定める材質のもので、内容積が10L程度のものであること。

エ 吸引用ポンプを有する吸引ケースの内側に試料採取袋を接続した装置であって、次の要件を具備しているもの

(ア) 吸引ケースは、内側の試料採取袋が視認でき、密閉できる構造のものであること。

(イ) 吸引用ポンプは、20L/min以上の大気を吸引できる能力を有するものであること。

(ウ) 試料採取袋は、第2の1の(1)のイの(イ)に定める材質のもので、内容積が10L程度のものであること。

(2) 排出口試料用試料採取装置

試料採取用ポンプを経て試料採取袋に試料を採取できる装置又は吸引用ポンプを有する吸引ケースの内側に試料採取袋を接続した装置であって、次の要件を具備しているもの

(ア) 試料採取用ポンプは、4L/min以上の試料ガスを吸引できる能力を有し、無臭性のもので、臭気の吸着の少ないものであること。

(イ) 吸引ケースは、内側の試料採取袋が視認でき、密閉できる構造のものであること。

(ウ) 吸引用ポンプは、4L/min以上の試料ガスを吸引できる能力を有するものであること。

(エ) 試料採取袋は、第2の1の(1)のイの(イ)に定める材質のもので、内容積が3～20L程度のものであること。

(オ) 排出口からの試料採取管は、ガス温度が高いときには耐熱性を有する材質のものをを用いること。また、試料中の水分が多いときは、凝縮水トラップとして容量250ml程度のガス洗浄瓶を使用すること。

2 判定試験用装置及び器具

ア 空気注入用ポンプ

30L/min以上の空気を供給できる能力を有するものであること。

イ 無臭空気供給用器具

におい袋に無臭空気を注入する際に、供給される空気及び空気注入用ポンプからのにおいを除去できるものであること。

ウ 注射器

ガラス製のものであること。容量が1ml以下のものである場合は、ガスタイトシリンジを用いること。なお、樹脂製の注射器であって、ガラス製の注射器又はガスタイトシリンジと同等の気密性を有し、無臭性であり注射器自身への臭気の付着がない材質のものも使用できること。

エ におい袋

無臭性のもので臭気の吸着及び透過が少ないポリエステルフィルム製又はこれと同等以上の性能を有する樹脂フィルム製で、試料の導出口として内径10mm、長さ6cmのガラス管を有し、内容積が3Lのものであること。

オ 鼻当て

無臭性の樹脂製のもので、におい袋の導出口に接続し鼻を覆う構造のものであること。

カ シリコンゴム栓

におい袋の導出口を密栓できるものであること。

備考

器具等の接続に用いる導管のうち、試料が通過する部分の導管については、臭気の吸着の少ないポリふっ化ビニル製又はそれと同等以上の性能を有するものをを用いるものとする。

第3 測定の方法

測定は、次の手順によって行うものとする。なお、パネルを用いて以下の測定を行う者は、第1の2に定めるパネルの選定方法により正常な嗅覚を有すると認められた者であって、臭気指数の測定に関する高度の知識及び技能を有する者であるものとする。

1 試料の採取

(1) 環境試料

第2の1の(1)の試料採取装置の種類に応じて、次のいずれかの方法により試料採取容器又は試料採取袋に試料ガスを採取する。

ア 第2の1の(1)のアに掲げる装置による場合は、あらかじめ1.3kPa以下になるまでに減圧した試料採取容器のコックを開き、6秒以上30秒以内で試料を採取する方法。

イ 第2の1の(1)のイに掲げる装置による場合は、試料採取用吸引瓶を用いて、6秒以上30秒以内で試料採取袋の容量に相当する量を採取する方法。

ウ 第2の1の(1)のウ又はエに掲げる装置による場合は、6秒以上30秒以内で10L程度の試料を採取する方法。

(2) 排出口試料

第2の1の(2)の試料採取装置により、約1～3分で3～20L程度の試料を採取する方法。

2 判定試験

(1) 判定試験の実施時期

判定試験（パネルが嗅覚を用いてにおい袋中の臭気の有無を判定する試験をいう。以下同じ。）は、試料を採取した日又はその翌日のできる限り早い時期に行うものとする。

(2) パネルの人数

あらかじめ第1の2に定めるパネルの選定方法により選定された者6人以上を充てるものとする。

(3) 判定試験の実施場所

判定試験の実施場所は、換気装置又は換気窓を有し、試験に影響を及ぼすおそれのある臭気の存しない場所で、パネルが十分落ち着ける場所とする。

(4) 判定試験の手順

ア 環境試料

3個のにおい袋に無臭空気を注入してシリコンゴム栓で封じ、そのうちの1個に、注射器を用いて採取試料を注入し、最初に判定試験を行う希釈倍数（以下「当初希釈倍数」という。（注1））になるよう調製する。調製したにおい袋（以下「付臭におい袋」という。）1個と無臭空気のみを注入したにおい袋（以下「無臭におい袋」という。）2個を1組として各パネルに渡す。各パネルは、鼻あてを用いて3個のにおい袋のうちから採取試料が注入されていると判定するにおい袋1個を選定する（以上の操作を「選定操作」という。以下同じ。）。この選定操作を、各パネルについて3回繰り返す。

各パネルが行う選定操作ごとに、正解率として当該パネルが付臭におい袋を選定した場合にあっては1.00、無臭におい袋を選定した場合にあっては0.00、におい袋を選定することが不能である場合にあっては0.33を与え、全ての正解率を加算した値をパネル全員の延べ選定回数で除す。これにより平均正解率を得る。

平均正解率が0.58未満の場合は判定試験を終了する。平均正解率が0.58以上の場合は希釈倍数を10倍して再度上記の操作を行い、判定試験を終了する。

（注1）環境試料の当初希釈倍数は、原則10とする。ただし、希釈倍数を10倍して再度操作を行った際の平均正解率が、なお0.58以上となると見込まれる場合には、当該平均正解率が0.58未満となるよう当初希釈倍数を10以上の適切な値に決定するものとする。

イ 排出口試料

第3の2の（4）のアと同じ手順で当初希釈倍数（注2）に調製した付臭におい袋1個と無臭におい袋2個を1組として各パネルに渡し、選定操作を行う。この選定操作において、無臭におい袋を選定したか又は選定することが不能であったパネルについては、選定操作を終了する。また、付臭におい袋を選定したパネルについては、希釈倍数をおおむね3倍して選定操作を繰り返し、当該パネルが無臭におい袋を選定するか選定することが不能となった時点で終了する。

（注2）排出口試料の当初希釈倍数は、パネルによる臭気の有無の判定が十分に可能であり、かつ、パネルに嗅覚疲労等による影響がないよう決定するものとする。

3 臭気指数の算出

(1) 環境試料

臭気指数は、次の式により算出する。

ただし、当初希釈倍数に係る平均正解率が0.58未満の場合にあっては、臭気指数の値は、 $10\log M$ 未満として表示するものとする。

$$Y = 10\log \{M \times 10^{(r_1 - 0.58) / (r_1 - r_0)}\}$$

この式において、Yは臭気指数、Mは当初希釈倍数、 r_1 は当初希釈倍数に係る平均正解率、 r_0 は当初希釈倍数を10倍したときの平均正解率を表すものとする。

(2) 排出口試料

ア 次の式により試料臭気の希釈倍数に係る各パネルの閾値を算出する。

$$X_i = \frac{\log M_{1i} + \log M_{0i}}{2}$$

この式において、 X_i は試料臭気の希釈倍数に係るあるパネルの閾値、 M_{1i} は当該パネルが付臭におい袋を選定した場合における当該におい袋に係る希釈倍数の値のうち最大のもの、 M_{0i} は当該パネルが無臭におい袋を選定した場合又は選定することが不能であった場合における付臭におい袋に係る希釈倍数の値を表すものとする。

イ 各パネルについて算出した X_i のうち最大の値と最小の値をそれぞれ一つずつ除き、当該除かれた値以外の値を加算して得た値をパネルの人数から2を減じた値で除す。

ウ 次の式により算出する。

$$Y = 10\log X$$

この式において、Yは臭気指数、Xは上記イにより算出された値を表すものとする。

第5章 悪臭の感覚的評価・規制のための 嗅感覚の時間特性に関する検討

第1節 概説

悪臭公害をはじめとする感覚公害の適切な評価と規制および防止対策の立案のためには、外的刺激の質的および量的性状と感覚量との関係に関する検討に加えて、外的刺激の時間的特性と感覚量との関係についても詳細に把握することが不可欠である¹⁾。このうち、前者に関しては従来から多くの研究が行われてきたが、感覚の時間的特性に関する検討は少なく、嗅覚に関連する分野においても例外ではない。

ある臭気が苦情となって訴えられるのは、その臭気のピーク強度、感知回数（認知頻度）および継続時間が引金となっているといわれている²⁾が、第4章第3節においても、臭気の認容性に対する影響因子として、「気になる頻度」や「継続時間」といった臭気の時間的曝露条件が抽出された。図5-1に概念的に示したように、大気中の臭気物質濃度が変動し、間欠的に臭気が知覚される場合、評価時間が長ければ濃度の時間平均は閾値を下回るという結果になり、この評価は何ら意味をもたない。悪臭防止法の排出口における規制基準の設定に際しても、悪臭公害は短時間の汚染によって影響が現れるという特徴を考慮して、大気拡散における評価時間を5分間としている³⁾。しかし、住民にとって悪臭は一呼吸（数秒間）であっても感知されるものであるとの観点から、評価時間は数秒程度とするのが適当である^{4) 5)}と考えられている。また、悪臭苦情の発現には、瞬間曝露（曝露頻度1～2回/週、曝露時間1～2秒）が非常に大きな要因となっており、瞬間曝露の臭気強度は、10

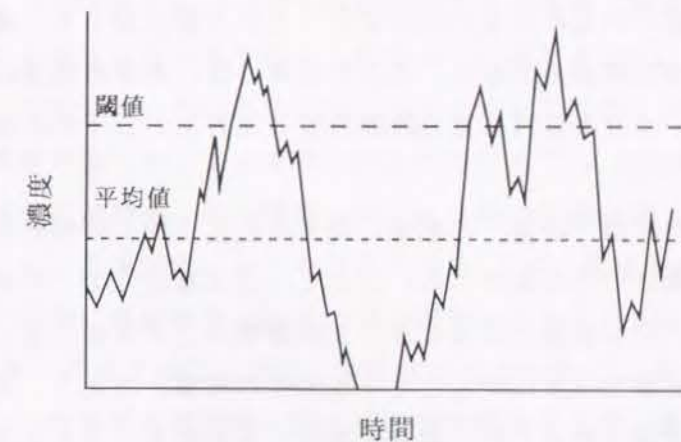


図5-1 間欠的に臭気を知覚していても時間平均が嗅覚閾値を下回っているために評価が意味をなさない概念図

秒間平均臭気強度の1.5~1.7倍であるとの報告⁶⁾もある。さらに増田ら^{7) 8)}は、悪臭現場周辺での臭気強度測定値と拡散モデルから求めた計算値を比較した結果、実測値に比べて計算値が著しく過小評価となったと述べており、いずれにせよ現在の悪臭防止法は、変動臭気に対して全くといっていいほど無力であることがわかる。また、臭気の発生頻度に注目した大気拡散についての検討^{9) 10)}も若干行われているが、一般的な評価モデルの構築にはなお一層の検討が必要である。一方、高原ら^{11) 12)}は、現場の間欠的臭気に対して簡易官能試験法による短時間評価を試み、感覚的評価と対応させるには機器分析のための試料採取時間を1分程度とするのが適当であると述べるとともに、嗅覚疲労と回復についても検討し、不快性の強い物質ほど嗅覚疲労が起きにくく、また回復の度合いが大きいと結論している。しかし、これらの検討内容をみると、判断の基準が曖昧であり、臭気に対する人間の感覚的応答が十分に吟味されているとはいいがたい。斉藤ら^{13) 14)}も変動臭気呈示装置を用いた検討を行っているが、現在のところ変動臭気を合理的に評価しうる手法を確立するまでには至っていない。

このように、臭気の時間的変動を考慮した悪臭の評価方法に関する検討が行われてきているが、人間の感覚に対応した的確な評価手法を確立するためには、まず嗅覚の根本的メカニズムを解明するとともに、それに基づいた人間の感覚的応答特性について検討することが不可欠である。すなわち、嗅覚に関する生理学的・精神物理学特性と臭気物質の物理化学的特性を対応させることによって嗅覚の組織学的解明を行い、臭気物質の質的・量的および時間的特性と感覚量との関係を把握し、さらに環境条件を考慮することによって、人間の感覚に対応した悪臭の評価が可能となる^{6) 15)}。また、第4章第4節において指摘したように、現在の三点比較式臭袋法では、嗅覚の時間特性に基づいた測定手法上の留意点はほとんど考慮されておらず、感覚的応答に即した臭気の測定を行うという観点からも、嗅覚の様々な時間特性に関する検討が必要である。そこで本章では、悪臭の感覚的評価・規制における重要因子の一つである嗅覚の時間特性に注目し、以下の内容について検討を行った。

まず、三叉神経性の“刺激”の感覚に関する生理学的・精神物理学および物理化学的研究の概要について説明した。ここで、三叉神経性の“刺激”の感覚とは、一般的な“におい”の感覚とは異なり、臭気物質が三叉神経末端に受容されることによって生起する感覚（鼻につんとくる刺激性の感覚）であり、臭気の強度や不快性に大きく影響すると考えられ、本章においても検討を行ったものである。次に、嗅覚における基本的かつ重要な時間特性である順応現象について、その特性と発現機構などに関する従来の知見をまとめて説明した。

実験的検討内容としては、まず嗅覚の時間特性の基本的要素の一つである臭気

の吸入時間に注目し、吸入時間を変化させたときのにおい物質と刺激性物質の“におい”および“刺激”の感覚の知覚強度を臭袋を用いて測定し、各物質の知覚特性と、三点比較式臭袋法をはじめ、臭袋を用いて官能試験を行う際の留意点について考察した。次に、臭気の曝露初期における知覚特性を把握するために、4秒サイクルで呼吸を行わせたときの初期30秒間での知覚強度の変化を測定し、その特性について検討するとともに、官能試験における被験者の判定に及ぼす呼吸回数の影響についても考察した。

また、臭気の連続的曝露に対する知覚特性に関しては、以下の検討を行った。まず、におい物質と刺激性物質を連続的に曝露したときの“におい”および“刺激”の知覚強度を測定し、その時間特性の違いについて検討した。次に、順応現象における種々の物質の知覚特性を把握するために、様々なにおい質を有する物質を連続的に曝露したときの知覚強度の変化を測定し、各物質による特性の違いについて検討した。さらに、順応現象のモデル化に関して、経験的モデル式であるEkmanの式と生理学的モデル式である大迫の式に注目し、大迫の式の簡略化によって、感覚的応答特性を物理化学的・生理学的観点から説明することを試みた。そして最後に、悪臭公害発現における重要因子である快・不快度の推移とにおい質および知覚強度との関係を把握するために、臭気物質を連続的に曝露したときの快・不快度の変化について検討するとともに、その影響因子についても考察した。

第2節 嗅覚における三叉神経性刺激¹⁶⁾

5-2-1 嗅覚性刺激と非嗅覚性刺激（三叉神経性刺激）

においの感覚は、におい物質が嗅細胞に受容されることによって生起する嗅覚性刺激の感覚（一般的意味での“におい”の感覚）と、三叉神経末端に受容されることによって生起する非嗅覚性刺激（三叉神経性刺激）の感覚（鼻につんとくる“刺激性”の感覚）の合成されたものである。図5-2に示すように、ヒトの鼻腔は、上甲介、中甲介、下甲介という張り出しによって不完全ではあるが上中下の三鼻道に区分され、また鼻中隔によって左右に分割されている¹⁷⁾。鼻孔から吸入されたにおい物質は、鼻腔の天井部分にある嗅裂と呼ばれる狭い空間に達し、その表面を覆う嗅上皮に密集している嗅細胞によって受容される¹⁸⁾が、鼻腔内の前部と外側部には、嗅神経以外に痛覚、温度感覚、触覚、圧力感覚などを司る三叉神経が入り込んでおり¹⁹⁾、刺激臭に応答することが古くから知られていた²⁰⁾。近年になって、嗅細胞におけるにおい物質の受容機構に関する研究が進展する中、鼻腔内に分布する三叉神経の機能に対して関心を示す人はほとんどおらず、その構造や受容メカニズムについては、多くの点が未解明のまま残されている。しかし、第4章第2節で述べたように、悪臭現場においては刺激性物質が数多く排出され、臭気の強度や不快

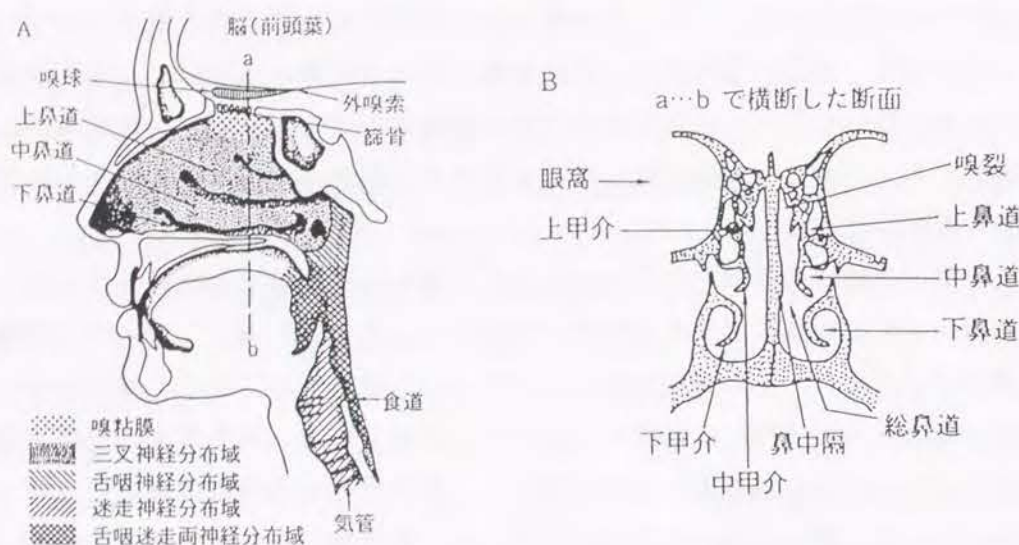


図5-2 ヒトの頭部の断面図と嗅覚を司る神経の分布領域¹⁷⁾

性に大きく影響すると考えられることから、刺激性的感覚の発現機構や知覚特性を把握することが不可欠である。

5-2-2 三叉神経とは

三叉神経 (trigeminal nerve) は、第五脳神経とも呼ばれるが、脳幹の橋 (pons) に核をもち、半月神経節を形成した後、眼神経、上顎神経、下顎神経に分かれるのでこの名がある^{21) 22)}。表5-1に示すように、三叉神経は知覚性と運動性の両方の線維を含み²³⁾、知覚性線維は顔面の皮膚全体と鼻腔、口腔および上下の歯牙に分布している²⁴⁾。三叉神経末端は、最も単純で原始的なタイプの神経受容体である自由神経終末 (free nerve ending) となっており、鼻腔および口腔内では固有層および上皮組織内に位置する^{25) 26)}。三叉神経への受容は、「刺激のある (pungency)」、「ひりひりする (irritation)」、「くすぐったい (tickle)」、「焦げるような (burn)」、「刺すような (sting)」、「痛い (pain)」などと表現され、有毒・有害物質の検知、自己防衛本能である反射行動^{27) 28)} (呼吸停止、粘液の分泌など) の作動因子としての機能をもつ、一般化学感覚 (common chemical sense) の一種であると考えられている^{29) 30)}。

Henkinは、嗅上皮や嗅神経が交通事故や脳腫瘍の手術によって損傷または除去された患者に対して嗅覚検査を行い、嗅神経以外に、三叉・舌咽・迷走神経もそれぞ

表5-1 脳神経の種類と分布²³⁾

	知覚性 (afferent)		運動性 (efferent)	
	体性感覚 (somatic sensory)	内臓感覚 (visceral sensory)	体性支配 (somatic motor)	内臓支配 (visceral motor)
N. I. 嗅神経 (olfactory nerve)	嗅覚	—	—	—
N. II. 視神経 (optic nerve)	視覚	—	—	—
N. III. 動眼神経 (oculomotor nerve)	—	—	眼球運動	瞳孔調節*
N. IV. 滑車神経 (trochlear nerve)	—	—	眼球運動	—
N. V. 三叉神経 (trigeminal nerve)	頭部(顔・鼻・口など)の一般感覚	—	—	咀嚼筋・鼓膜筋
N. VI. 外転神経 (abducens nerve)	—	—	眼球運動	—
N. VII. 顔面神経 (facial nerve)	—	味覚・内臓感覚	—	顔面表情筋・耳小骨筋・涙腺・唾液腺
N. VIII. 聴神経** (auditory nerve)	聴覚・平衡覚	—	—	—
N. IX. 舌咽神経 (glossopharyngeal nerve)	—	味覚・内臓感覚	—	嚥下運動・唾液腺*
N. X. 迷走神経 (vagus nerve)	—	味覚・内臓感覚	—	嚥下運動・喉頭筋・胸部内臓器官*
N. XI. 副神経 (accessory nerve)	—	—	—	肩と顔の運動
N. XII. 舌下神経 (hypoglossal nerve)	—	—	—	舌の運動

* 副交感神経支配のもの。 ** 内耳神経 (vestibulocochlear nerve) ともいう。

れ鼻腔・咽頭・喉頭部でにおいの存在を検知する能力をもっていることを証明し、嗅神経 (主嗅覚神経) に対して、3つの神経を副嗅覚神経と呼称した³¹⁾。しかし、人間の嗅感覚におけるこれら副嗅覚神経の役割や主嗅覚神経との関わりについては、現在なお十分明らかになっていない。

5-2-3 三叉神経のにおい物質に対する応答

嗅感覚における三叉神経性刺激の寄与については、長年、研究者の興味の対象となることはほとんどなかったが、Tucker^{32) 33)}の研究によって、近年注目を浴びるようになってきた。彼は、カメとウサギの三叉神経の応答を電気生理学的に測定し、いくつかのにおい物質については、嗅細胞を刺激するよりも低い濃度において三叉神経が応答することを示した。また、BeidlerとTucker³⁴⁾によると、嗅神経では吸気するときしか応答を示さなかったのに対して、三叉神経では吸気に伴ってゆっくりと応答が起こり、吸気、呼気いずれにおいても一定のレベルで応答がみられた。

SilverとMoulton³⁵⁾は、9種類のにおい物質に対するラットの応答を測定し、濃度の増加とともに応答も大きくなるが、物質によって閾値や傾きが異なることを示した。同時に彼らは、低濃度において、刺激の呈示時間とともに応答が大きくなる物質があることを示しているが、これは、Elsbergら³⁶⁾、Tucker³⁷⁾、Beidler²⁵⁾、Cain³⁸⁾の報告と一致している。すなわち、Cain³⁸⁾は、n-butyl alcoholを被験者に与え、1呼吸後と3呼吸後の“におい (odor)”と“刺激 (irritation)”の強度

を回答させたところ、図5-3に示すように、呼吸を重ねることによって“刺激”の強度が大きくなったと報告しているが、これらの結果は、三叉神経と嗅神経との特性の違いを反映していると考えられ、両者の関連性を検討するうえで時間特性に注目することが有効であることを示唆している。またCain³⁸⁾は、“におい”と異なり、“刺激”の強度が大きくなった原因として、三叉神経末端が上皮組織の深部に位置し、受容膜中におい物質の濃度が気相中の濃度変化を反映しにくい点を指摘しているが、反応時間に関する検討から、三叉神経末端は、従来考えられていたよりも上皮組織の表面近くに存在するとの報告³⁹⁾もある。

Smithら⁴⁰⁾は、三叉神経の片側を損傷した被験者、嗅神経系の片側を損傷した被験者、およびコカインによって嗅上皮あるいは嗅上皮以外の鼻腔内粘膜を麻酔した被験者を用いて、amyl acetate (バナナ様臭気) に対する脳波 (OER: odorant evoked response) を測定し、OERが嗅神経の応答ではなく、三叉神経の応答に由来するものであることを報告した。また、KobalとHummel⁴¹⁾も、三叉神経と嗅神経

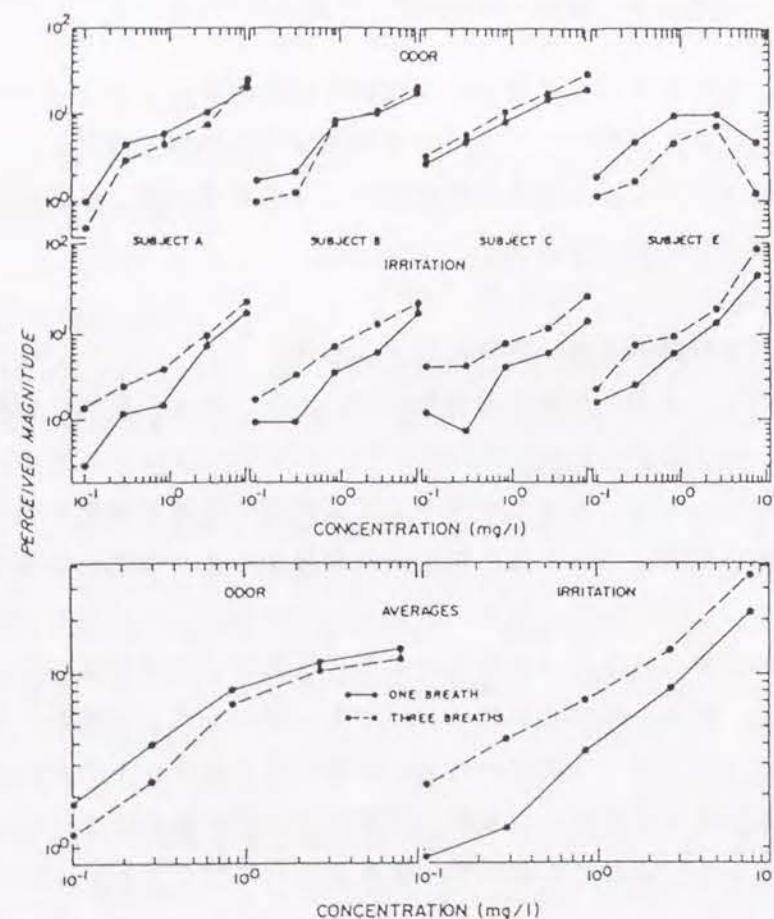


図5-3 n-Butyl alcoholを1回(実線)および3回(破線)呼吸した後の“におい(odor)”と“刺激(irritation)”の知覚強度³⁸⁾ 上段は各被験者の結果、下段は平均値を示す。

に起因する脳波の識別の可能性について検討している。このようなことから、におい物質に対する応答としての脳波を解析する場合には、感知の瞬時性を含めてそれが何の応答に起因するものなのか、さらにそれが人間の意識を包含した感覚的評価と対応したものであるのか、という点を明確にすることが不可欠であり、このことを基礎としない結果の解釈は、臭気の計測としても客観性がないといえる。

Cain³⁸⁾は、n-butyl alcoholの“におい(odor)”、“刺激(irritation)”および“全体(overall)”の強度を被験者に回答させ、低濃度では“におい”の感覚が強いが、濃度に対する増加率は“刺激”の方が“におい”よりも大きいことを示した。この結果をEngen⁴²⁾は、低濃度領域では“におい”に対する知覚が、高濃度領域では“刺激”に対する知覚が支配的になると解釈している。また、Cain³⁸⁾は、精神物理学関数(Stevens則)の傾き(増加率)は物質によって異なる⁴³⁾が、“全体”の知覚強度の変化も精神物理学関数に適合することを示している。Cain³⁸⁾は、同じくn-butyl alcoholを用いて、“におい”と“刺激”の反応時間(吸入を開始してからにおいを感じるまでの時間)を測定し、濃度によらず“におい”の反応時間が“刺激”の反応時間よりも短いことを報告したが、LaingとMacLeod⁴⁴⁾によると、propionic acidの認知時間は、n-butanolや(+)-limoneneよりも短くなったことから、各物質の濃度の違いが影響していると考えられる。

Cometto-Munizら⁴⁵⁾は、formaldehydeとammoniaについて、複合系における知覚強度を測定し、濃度が高くなるにつれて部分的加算性、加算性、相乗作用⁴⁶⁾がみられることを示した。高濃度になるほど“刺激”としての寄与が大きくなる³⁸⁾ことから、濃度レベルの違いによるにおいの特性の差が複合作用⁴⁶⁾⁴⁷⁾の変化として表れたとしているが、詳細についてはさらに“におい”と“刺激”の複合特性についての検討が必要であると述べている。

以上のような研究から、多くの物質が嗅神経と三叉神経の両者を刺激し³⁰⁾、またそれらの特性が異なることが明らかとなった。

5-2-4 嗅神経系と三叉神経の相互作用

従来、“におい”の感覚のみをもつ物質として考えられていたものが、嗅覚脱失者(anosmia)によって検知される⁴⁸⁾など、多くの物質が嗅神経と三叉神経の両者を刺激するという事実が明らかとなり、嗅神経系と三叉神経の相互作用に関する研究が人々の関心を集めてきた。Cain⁴⁹⁾は、三叉神経の片側を損傷した被験者を用いて、1-propanol、1-butanolおよびn-butyl acetateの強度評価を行い、正常な鼻孔の方が損傷のある鼻孔よりも知覚強度が常に大きく、濃度が高くなるほどその差が大きくなることを示した。しかし、図5-4に示すように、精神物理学関数の傾きは正常な被験者とほぼ同様であり、全体の知覚強度に対する三叉神経の寄与が物質

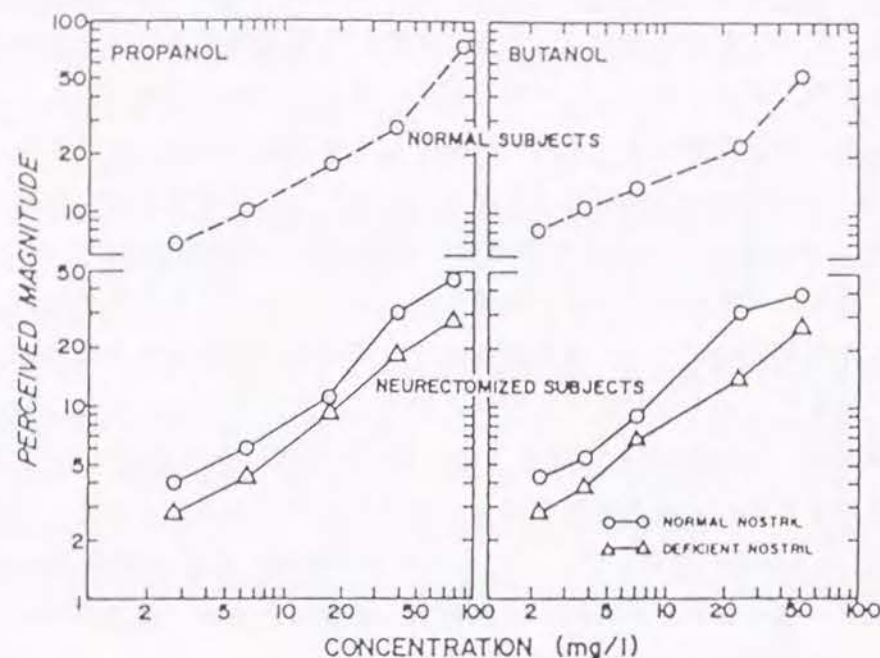


図5-4 正常な被験者（上段）と三叉神経の片側を損傷した被験者（下段）の知覚強度の変化⁴⁹⁾

ごとにほぼ一定となることも報告している。Hyman⁵⁰⁾は、この結果を引用して、通常の精神物理学計測で得られる知覚強度のデータは、三叉神経性刺激による寄与も包含したものであり、それが精神物理学法則からのずれに幾分か影響している可能性があることを指摘している。Cain⁴⁹⁾はまた、同じ被験者を用いて、順応現象における三叉神経の寄与についても検討し、損傷のある鼻孔の方が正常な鼻孔よりも順応が起こりやすく、嗅感覚に対して三叉神経が大きく影響していることを示した。

CainとMurphy⁵¹⁾は、n-amyl butyrate（果実様臭気）とcarbon dioxide（刺激性臭気）の様々な濃度の組合せについて、それらを混合して被験者に与えた場合と各物質を別々の鼻孔から与えた場合の“におい (odor)”、“刺激 (irritation)”および“全体 (overall)”の知覚強度を測定した。その結果、n-amyl butyrateの濃度が高くなるにつれて“刺激”の強度が小さくなり、逆にcarbon dioxideの濃度が高くなるにつれて“におい”の強度が小さくなることを示し、“におい”と“刺激”の相互抑制作用の存在を明らかにした。また、両物質を混合したものを与えた場合と各物質ごとに別々の鼻孔から与えた場合でほぼ同様の結果が得られたことから、相互作用が神経末端ではなく、中枢部分に起因している可能性を指摘している。

⁵²⁾。このような観点から、彼らはさらに反応時間^{37) 38)}についても検討し、相互作用の末端部分での発現に否定的見解を示した。さらに、両物質の濃度がともに高くなった場合、“におい”の強さは増加から減少に移行するが、この現象にはにおいの特性の濃度による変化が影響していると考えられ、低濃度では“におい”の感覚が強く、高濃度になるにつれて“刺激”の寄与が大きくなる傾向³⁸⁾を反映しているものとして説明している。

嗅神経系と三叉神経の相互作用に関する中枢部分での生理学的な検討はほとんどされていないが、HughesとMazurowski⁵³⁾はclove oilなどの“快い (pleasant)”においが嗅球を興奮させるのに対し、ammoniaなどの“鋭く、不快な (sharp, unpleasant)”においは嗅球の活動を抑制することを示しており、人間の精神症患者で嗅球に電極を埋めた症例⁵⁴⁾においても、同様の傾向が観察されている。さらに、Walsh⁵⁵⁾は、carbon dioxideの濃度が高くなるほど嗅球インパルスが減少すると述べており、嗅神経系の中枢部分が“刺激”の感覚と関連している可能性は十分考えられる。一方、Stoneら^{56) 58)}は、ウサギを用いて三叉神経の応答を神経節で遮断したときの嗅球の活動を測定し、三叉神経と嗅神経系の間には何らかの相互調整機能が存在するとの仮説を提案している。

また、Bouvetら⁵⁹⁾は、カエルの三叉神経（眼神経：NV-ob）において、逆伝導性刺激が嗅細胞の活動を抑制し、におい物質に対する応答を変化させたこと、および神経伝達物質であるP物質 (substance P) に対しても同様の反応がみられたことから、嗅神経系の機能は受容体レベルで作用を受け、P物質の関与のもとで三叉神経が嗅細胞の活性に影響を与えると主張している。また、capsaicinによってP物質の影響を除外した場合、嗅神経系の感度に変化がなかったことから、P物質の欠損自体は、においの識別にほとんど影響を与えないとの報告⁶⁰⁾もあり、嗅神経系と三叉神経の相互作用の存在は明白でありながらも、それが神経の末端部分に起因するのか中枢部分に起因するのかは未だ不明である。

5-2-5 三叉神経における受容機構

三叉神経が様々な化学物質に応答するという事実と、嗅神経系と三叉神経の相互作用の存在は、

- ①三叉神経の自由神経終末にはどのような受容機構が存在するのか。
- ②嗅神経と同様に、三叉神経は各々の化学物質を識別しうるのか、またそれはどのようなメカニズムによるものか。

という極めて根本的かつ本質的な問題の解決を要求した。この問題に対する解答を得るための一つの手がかりとして、“刺激”の感覚と刺激性を有する物質の物理化学的特性との関連性についての検討が行われてきた。

Amooreは、7種の基本臭の中の「刺激臭」の特徴を、化学的反応性が極めて高く、しかも非常に強い電子親和性をもつとし、受容サイトは逆に-SH基のような核親和性をもっており、両者が付加化合物をつくることによって“刺激”の感覚が発現すると述べた⁶¹⁾が、この考えはあくまでも概念的なものであり、三叉神経の関与についてはほとんど考慮されていない。また穴田⁶²⁾は、文献的な検索によって、「刺激臭」と「粘膜刺激性」の記述を有する41種の物質を選び、種々の物理化学的パラメータとの関連性について検討した結果、それらの物質には蒸気圧の高いものが多いことを見いだした。さらに、樋口ら⁶³⁾は、西田ら⁶⁴⁾の研究に基づいて12種類の解離性の刺激性物質の等価刺激度濃度(C_E)を測定し、分子の物理化学的特性との関連性について検討した結果、C_Eは解離定数と関連性があり、酸・塩基解離定数が大きいほど、すなわち解離しやすい物質ほどC_Eが低くなり、刺激性の感覚が発現しやすくなる傾向がみられることを示した。そのほか、炭素間二重結合、カルボニル基、ハロゲン、双極子モーメントなどが化学物質の三叉神経刺激性に影響しており^{48) 65)}、三叉神経末端の膜タンパク質上に存在する-SH基との親和性が重要な因子となっているとの報告^{48) 66)}もある。

一方、Silverら³⁹⁾は、ラットを用いて生理学的実験を行い、脂肪族アルコールの閾値が炭素鎖の増加につれて低くなったことから、三叉神経末端へ達するまでの上皮組織への浸透において、物質の脂質親和性が大きく影響している可能性を示した。同時に彼らは、反応時間と物質の上皮組織における拡散時間に関する検討から、三叉神経末端が従来考えられていたよりも上皮表面付近に存在するのではないかと推論している。

物質の物理化学的側面からの検討が進む中で、Silverら⁶⁰⁾、Bouvetら⁵⁹⁾は、三叉神経末端を組織学的・生化学的見地から観察し、P物質を含有する三叉神経線維がにおい物質に対する応答に関わっていることを指摘した。さらに、Bouvetら⁶⁷⁾は、これらの線維が血管やボーマン氏腺の周辺および嗅上皮中に存在することを示し、三叉神経が血液の流れや粘液の分泌さらに嗅細胞の活性を調整している可能性を示唆した。

三叉神経における化学物質の識別に関しては、嗅覚脱失者を用いたElsbergら³⁶⁾の観察や、BeidlerとTucker⁶⁸⁾の生理学的な研究によって、その存在が予想されていたが、Walkerら⁶⁹⁾の報告は、それに疑問を投じるものであった。最近、FarleyとSilver⁷⁰⁾は、amyl acetate、*d*-carvone、*l*-carvone、*l*-menthol、tolueneを用いて、自己順応(self-adaptation)と相互順応(cross-adaptation)の手法(本章第3節参照)によって、ラットの三叉神経興奮過程における化学物質の識別能力⁷¹⁾について検討した。その結果、三叉神経線維には、冷感線維(cold fibers)と2種類のカブサイシン感受性線維、すなわち化学感受性線維(chemosensitive fibers)と侵害

受容性線維(nociceptive fibers)が存在することを見いだした。

このようなラットの神経生理学的観察結果を直接人間の感覚と対応させることはできない。しかし、酢酸とアンモニアで“刺激”の感覚(種類)が異なることが経験的に明らかであるように、嗅神経のような鋭敏な識別能力を持たないにしろ、三叉神経は“刺激”の性質によって化学物質を認識する機能を備えていると考えことは可能であろう^{48) 69)}。

5-2-6 まとめ

アメリカ政府労働衛生専門官会議(ACGIH: American Conference of Governmental Industrial Hygienists)によって公表されるTLV(Threshold Limit Values)は、世界で最も広範に利用されている作業環境中許容濃度であるが、その6割以上は刺激性物質、すなわち三叉神経刺激性の物質であるといわれている⁷²⁾。三叉神経は、嗅覚や味覚と同様に外部環境由来の様々な物質を感知する体内センサーであるが、長い間、他の2つの感覚と比べて研究の興味の対象となることはほとんどなかった。すなわち、三叉神経は感度が低く、単に大気中の有害・有毒ガスに対する検知システムに過ぎないと考えられてきた^{29) 38)}。しかし、近年の研究の進展によって、三叉神経はかつて考えられていたよりもかなり感度が高く、様々な化学物質に対して応答を示すことが明らかとなり、通常、一般的意味でのにおいとして知覚している物質についても、その感覚の発現に三叉神経における応答が寄与していることが証明された⁴⁹⁾。さらに、化学物質の吸入に対する反射的な呼吸停止、粘液の分泌や鼻孔の開放性の調節、また、口腔においても唾液の組成変化を媒介するなど、嗅覚および味覚においても重要な役割を果たすことが明らかとなってきた⁶⁶⁾。

このような状況において、嗅覚、味覚、一般化学感覚などの相互の影響をできるだけ排除して、嗅神経系と三叉神経の特性を把握するには、嗅覚脱失者を用いた検討^{48) 49) 73)}が最適であるように考えられるが、Cain³⁸⁾やCometto-MunizとCain⁷⁴⁾の研究は、両者の時間特性の差異に注目することが有効であることを示唆している⁷²⁾。すなわち、サンプルを一時的に呈示しただけでは両者の特性が表面上に現れにくい、連続的あるいは断続的に呈示した場合、両者の特異的側面が増幅して現れるために、より詳細な検討が可能となるのである。

Cain³⁸⁾やCainとMurphy⁵¹⁾などの精神物理学的研究は、“におい”と“刺激”の知覚特性をとらえ、相互作用の存在を明らかにするなど、人間の知覚に直結した有用なデータを提供してくれるが、その検討に際し、次の点に注意が必要であると考えられる。まず、“刺激”に対して用いられる表現語であるが、5-2-2で挙げたものに加えて、一般的に、「冷たい(cool)」、「温かい(warm)」などが使

用されている⁸⁶⁾。しかし、一般的なにおい物質においては“刺激”の程度はわずかであり、被験者が表現語の意味を正確にとらえ、正しく判断できているかどうかは疑問である。また、大迫ら⁷⁵⁾も指摘しているように、“におい”と“刺激”の質的性状は全く異なるものであり、各々の知覚強度も全く異なった尺度と概念に基づいて判定されたものであると予想できる。すなわち、同一尺度上で“におい”と“刺激”の知覚強度を判別することは困難であると考えられ、“におい”と“刺激”の各々の知覚強度と“全体”としての知覚強度を単純に対応させることには疑問が残る。換言すれば、“全体”としての知覚強度の判定に、“におい”と“刺激”の質的性状の差異に起因する不安定要素が影響するということであり、特に“におい”と“刺激”の知覚強度が拮抗する場合には注意する必要があると考えられる。

Keverneら³⁰⁾は、化学感覚に関する研究において三叉神経を次のように位置づけている。

- ①三叉神経の寄与を考慮せずに嗅覚に関する行動学的・精神物理学的研究を行うことは、誤った知見を得ることになる。
- ②化学感受性は神経組織の基本的特性であり、各々の神経機構の相互比較によってそのメカニズムを解明することが可能である。
- ③各々の化学受容体は、それぞれ異なった中枢を経由しており、それらを理解することが脳を理解することにつながる。

三叉神経は、嗅覚および味覚との相互作用によって初めて機能するものであり、最終的にはこれら化学感覚の包括的な研究がその本質を明らかにすると考えられる。

第3節 嗅感覚における順応現象⁷⁶⁾

5-3-1 順応とは

人間の感覚の質と大きさは、刺激の性質と強度に対応しているが、その関係は常に固定したものではない⁷⁷⁾。すなわち、外界から受容器に作用する物理化学的エネルギーと知覚との間には一義的対応が見いだされず、このことは心理学では常識となっている⁷⁸⁾。一定の強さの刺激を持続的にある受容器に与えると、その感覚神経の活動は長い時間のうちに減少していくが、この現象は「順応 (adaptation)」として知られている。嗅覚においても、においを持続的に呈示していると閾値の上昇や感覚的強度の低下がみられ、嗅覚は比較的順応しやすい感覚であると考えられてきた⁷⁹⁾。したがって、悪臭の評価および種々の感覚的測定においては、順応現象の影響を十分考慮することが必要である。このように、我々の身近に存在し、臭気の評価を行う際の基本的な因子であるにもかかわらず、順応現象の特性やメカニズムは未だ十分に解明されたとはいえない。

5-3-2 順応と慣れ

「順応」と呼ばれる感覚効果は、しばしば「慣れ (habituation)」の現象と混同される⁸⁰⁾。「順応」は、受容器あるいは中枢における比較的短時間の応答の変化を指すのに対し、「慣れ」とは、受容器レベルでの応答は生起しているにもかかわらず、それが意識として知覚されない現象を指すと考えられるのが一般的である。例えば、ある家を訪問する場合を考えてみる。誰の家にもその家特有のにおいというものがあり、初めて訪問したときには少なからず当惑するものである。訪問者は、玄関をくぐった直後にはそのにおいを感じているが、しばらく滞在しているといつの間にかにおいを感じなくなっている。そして、このような訪問をしばしば繰り返していると、においに対する意識が薄れ、最初感じたような戸惑いはなくなるのである。ここで、家に入ってから時間が経つにつれて次第ににおいの感覚が弱くなる現象が「順応」であり、ある家を初めて訪問したときには印象的だったにおいが訪問を重ねることによって意識されなくなる現象が「慣れ」である。自分の職場など頻繁に訪れる場所のにおい、また漁村の魚のにおいや牧場の家畜のにおいなどについても同様のことがいえるであろう。

EngenとLipsitt⁸¹⁾は、新生児を対象とした研究で「慣れ」について報告している。すなわち、睡眠中の新生児にamyl acetateとheptanalの混合臭を与えると呼吸速度が変化するが、同様の操作を何回も繰り返すとこのような反応はみられなくなる。しかし、その後に混合臭の構成成分であるamyl acetateまたはheptanalだけを与えると再び反応が現れる。順応が起こっていたならば反応は現れないはずであり、新生児は混合臭に慣れた、すなわち新奇性が消え去っただけであるということがわかる。

悪臭問題の観点からも、「順応」と「慣れ」の意味づけを明確にしておく必要があると考えられる。すなわち、規制地域内に悪臭に対する「順応」のみられる地域がある場合、地域を区分して規制基準を設定するようになっている⁸²⁾が、ここでの「順応」は、「慣れ」の意味で用いられている。また、官能試験におけるパネルの「順応」の影響を論じる際に「慣れ」という表現が使われる場合がある。このように、用語の明確な使い分けがされていないと現象の把握が不十分になり、臭気の評価に混乱をきたすことが考えられる。したがって、心理学や生理学における知見を積極的に臭気の評価に生かしていかなければならないという観点からも、悪臭の実務に携わる人は、それぞれの現象の実体を的確に把握しておく必要がある。

5-3-3 自己順応と相互順応

自己順応 (self-adaptation) とは、あるにおい物質に持続的に曝露された後で、そのにおい物質に対する感度に変化する現象であり、相互順応 (cross-adaptation)

とは、あるにおい物質の曝露の後、他のにおい物質に対する感度が変化する現象である⁸⁰⁾。嗅覚の順応に関する最初の研究は閾値の変化を調べるものであった⁸³⁾が、Ekmanら⁸⁴⁾は、計量心理学的手法を用いてhydrogen sulphideの曝露に対する知覚強度の時間的変化を測定し、順応過程においても回復過程においても指数関数的な傾向を示すことを明らかにした(図5-5)。その後、様々な精神物理学的研究によって順応現象の特性を把握しようという試みがなされてきた。

Cain⁸⁵⁾は、n-propanol (C_3) と n-pentanol (C_5) を用いて自己順応および相互順応について検討を行い、順応によって濃度と知覚強度の関係を表す精神物理学関数の傾きが大きくなること、その傾きは順応臭気(最初に与えて順応させる臭気)の濃度が高いほど大きくなること、知覚強度が同等であれば、 C_3 、 C_5 ともに同程度の自己順応が生ずること、および呼吸の回数による影響は小さいことを明らかにした。しかし、 C_3 と C_5 で相互順応の程度に差があること、すなわち等強度であっても C_3 に順応させた後の C_5 の知覚強度に比べて C_5 に順応させた後の C_3 の知覚強度の低下の方が大きいことも示している(図5-6)。これと同様の傾向は、他の物質における相互順応についても報告されている^{86) 87)}。

Steinmetzら⁸⁸⁾は、methyl isobutyl ketoneを用いてカテゴリー尺度による知覚強度の測定および閾値の測定を行い、両測定によって順応現象を同様に扱うことが可能であること、また順応、回復ともに高濃度で速く起こること、順応よりも回復が速く起こることを示した。Pryorら⁸⁹⁾は、同じくmethyl isobutyl ketoneを用いて、Cain⁸⁵⁾の報告と同様に高濃度臭気によって順応されるほど精神物理学関数の傾きが大きくなることを示した。またCain⁹⁰⁾は、一定濃度の順応臭気に対する知覚強

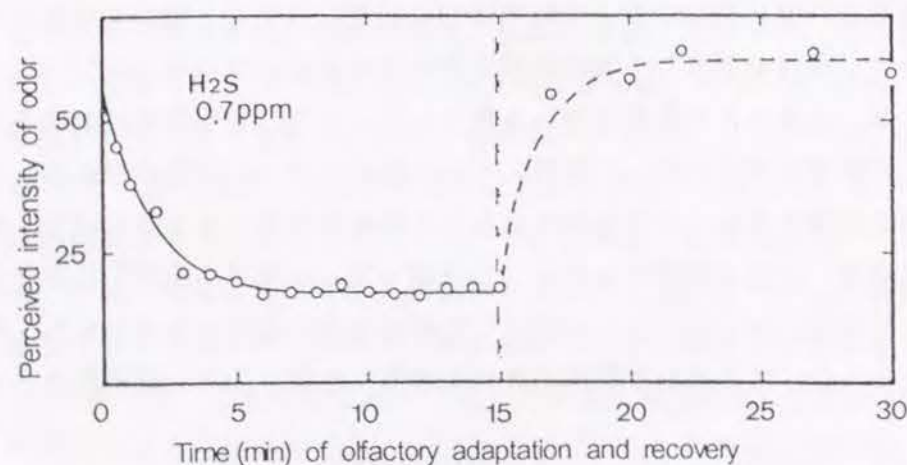


図5-5 Hydrogen sulphideの曝露における順応と回復⁸⁴⁾

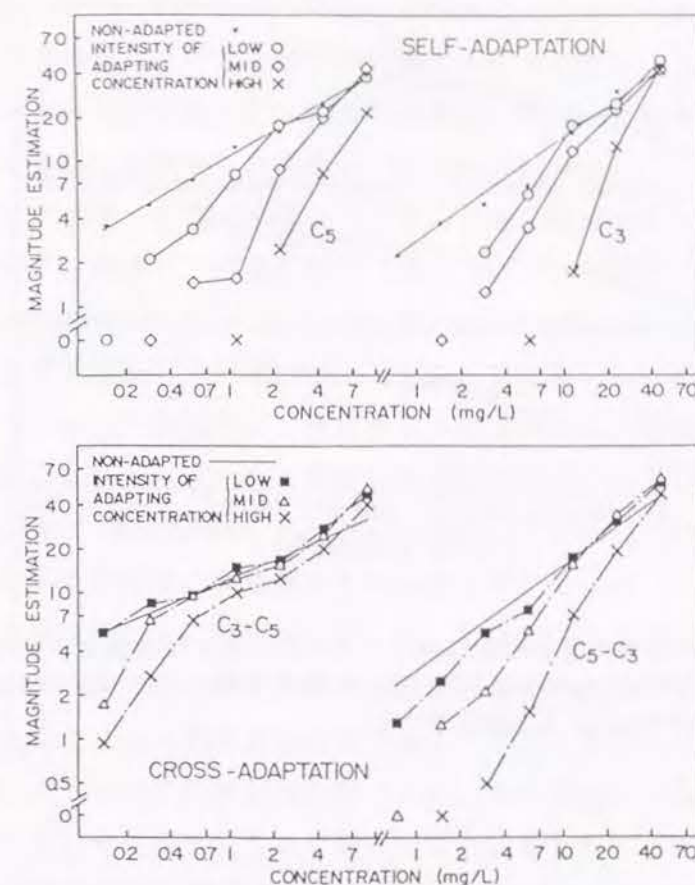


図5-6 n-Propanol (C_3) と n-pentanol (C_5) における自己順応(上段)と相互順応(下段)⁸⁵⁾

度の変化を測定するかわりに知覚強度を一定に保つように被験者自身に濃度を変化させ、図5-7に示す結果を得たが、これは図5-5と鏡像関係にあるといえる⁸⁰⁾。さらにStoneら⁹¹⁾は、順応の程度と物理化学的特性との関係を調べるために、7種の物質について100秒間の自己順応の前後における閾値および知覚強度を測定したところ、順応前後の閾値、蒸気圧および順応によって低下した知覚強度の割合の間に有意な順位相関がみられたと報告している。

閾値の測定においても閾上刺激の知覚強度の測定においても、順応に関する研究すべてに通じる欠陥は、被験者の反応のバイアスについての測定がなされていないことであるが、Berglundら⁹²⁾によると、順応臭気の濃度が高いほどバイアスが大きくなることが報告されている。しかし、順応臭気の持続時間に対してはほとんど変化がなく、順応が極めて速やかに進行することを示していると考えられる⁸⁰⁾。

このように、順応に関する様々な研究が行われてきたが、その背景には、におい

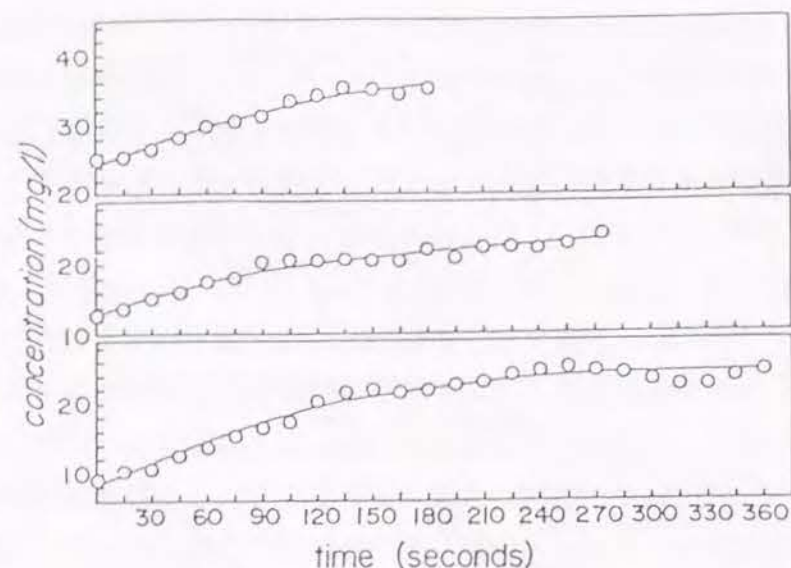


図5-7 一定の知覚強度を保持するために必要な試料濃度の変化⁹⁰⁾
試料は1-propanolであり、最初の濃度は上から25.4mg/L、
12.9mg/L、9.1mg/Lである。

の識別機構を解明するための手がかりを得るという重要な目的が存在していた。すなわち、あるにおい物質と特異的に結合するレセプターが存在するならば、においを連続的に嗅ぐとともに結合可能なレセプター数が減少し、知覚強度も小さくなることから順応現象を説明することが可能である。したがって、類似した性質（におい質やにおい物質の物理化学的特性が考えられる）をもつにおい物質もまたそのレセプターに受容されるため、相互順応の効果が大きくなると考えられる。換言すれば、相互順応度が大きいということは2つの物質の性質が類似しているということになり、相互順応の結果からにおいを分類することが可能となる。このような観点から、ZwaardemakerやMoncrieff、Kösterなどがにおいの定性的分類を企てたが、明確な関係を見いだすまでには至っていない^{93) 94)}。

相互順応の現象を利用したにおいの分類の試みは、精神物理学にとどまらず、生理学の分野でも行われている。Ohnoら⁹⁵⁾は、カエルの嗅上皮に様々なにおい物質を与え、嗅球における応答を測定した。その結果、menthoneと*l*-menthol、benzaldehydeとbenzonitrile、*d*-camphorとcineol、cyclooctaneと*d*-camphor、1-octanolと1-heptanolのような類似したにおいをもつ物質の間に相互順応効果が認められたことから、それらは類似したレセプターを刺激するのではないかと推論している。また、FarleyとSilver⁷⁰⁾もラットの三叉神経について相互順応の手法を適用し、レセ

プターの分類について考察している。

しかし、EngenとBosack⁹⁶⁾によって見いだされた「促進 (facilitation)」の現象は、相互順応を利用したにおいの分類に関する研究に対し、大きな波紋を広げた。彼らは、人間の新生児を対象として相互順応の検討を行っていたところ、*n*-octyl alcohol (C_8) を順応臭気とした場合に、*n*-ethyl alcohol (C_2) および *n*-propyl alcohol (C_3) に対する応答の感度が上昇することを発見した。そこで、CorbitとEngen⁹⁷⁾は、成人を対象として脂肪族アルコールについて同様の検討を行った結果、やはり *n*-heptyl alcohol (C_7) の C_3 および *n*-butyl alcohol (C_4) に対する促進現象が認められたと報告している。このような結果に対して、彼らは嗅粘膜における受容過程についての考察を行い、順応臭気が炭素鎖の長い物質である場合に促進現象が発現することから、水への溶解性が重要な因子となっていることを指摘した。また、Berglundら⁹⁸⁾もhydrogen sulfideとdimethyl disulfideを用いて相互順応に関する検討を行っていた際に促進現象を見いだしている。

相互順応の手法を用いたにおいの分類においては、このような複雑な問題も存在するが、においの感覚の類似性に対応する結果も報告されている⁹³⁾ことから、さらに検討を進めることによって重要な情報が得られると考えられる。ただし、人間の感覚的応答は、におい物質が嗅細胞に受容された後に高次の中樞で様々な情報の修飾を受けた結果として発現するものであるから、感覚としての応答がレセプターにおけるにおい物質の受容現象を直接反映しているわけではないという点に留意する必要がある。最近、Todrankら⁹⁹⁾やCainとPolak¹⁰⁰⁾、またPierceら¹⁰¹⁾によって相互順応に対する様々な視点からのアプローチが試みられているが、このような精神物理学的研究を生理学的研究と結合させることによって、においの本質を見いだすことが可能となるであろう。

5-3-4 順応の発現機構

嗅神経系のどの段階において順応が発現するのかという疑問は、レセプターにおけるにおい物質の受容機構や様々な嗅覚特性の発現に大きく係わる問題であり、現在までに様々な検討がなされてきた。伊藤¹⁰²⁾は、モルモットにlimoneneを反復して与えたときの嗅神経小枝の活動を記録し、図5-8に示す結果を得た。これによると、応答の大きさは時間の経過とともに緩やかに減衰するが、あるレベル以下には下がらなかった。したがって、嗅神経レベルでの応答の減衰は認められるものの、それ以上の順応現象は末梢受容器では起こらないと結論づけた。Ottozonも、カエルの嗅粘膜へのにおいの曝露が応答の完全な消滅をもたらさなかったことから、嗅覚の中樞経路が順応現象に関与している可能性を指摘しており⁸⁰⁾、GetchellとShepherd¹⁰³⁾によっても同様の結果が得られている。

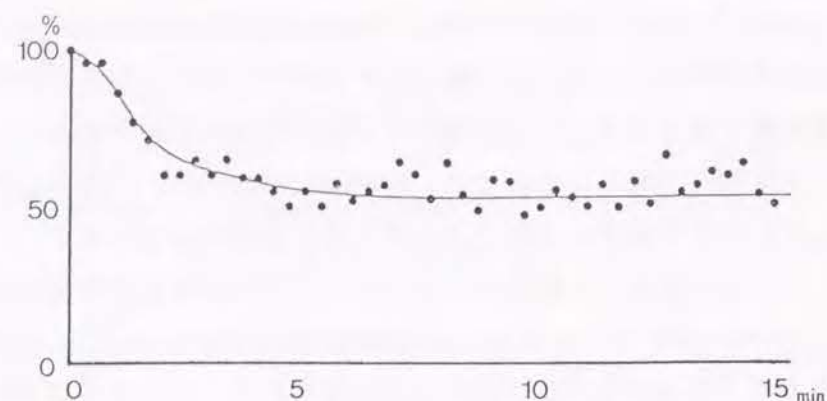


図5-8 Limoneneを反復して与えたときのモルモット
嗅神経小枝の活動記録¹⁰²⁾

また、Cain⁵²⁾は、片側の鼻孔だけに linalyl acetate を曝露させた後に、同じ鼻孔および他方の鼻孔において linalyl acetate に対する知覚強度を測定した結果、においを曝露していない鼻孔においても平常時よりも知覚強度の低下が観察されたことから、順応現象にはある程度中枢での神経システムが影響しているのではないかと推論している。一方、KurahashiとShibuya¹⁰⁴⁾は、イモリの嗅細胞を用いて膜電位固定下でにおい物質誘起電流の時間経過と電位依存性を調べたところ、応答性の低下はにおい物質に活性化される陽イオンコンダクタンスそのものが時間依存的に不活性化するためであり、このような過程に細胞外の Ca^{2+} が不可欠であることを明らかにした。

以上のことから、嗅細胞レベルおよび中枢レベルともに順応現象への関与が認められるが、レセプターでの応答の減衰は実際の感覚としての順応ではないことから、いずれが支配的であるかは未だ不明である。

5-3-5 まとめ

順応現象は、我々が日常的に経験する現象であり、時間的要因が大きく関与していることから、悪臭苦情の発現や臭気の測定・評価を考えるうえで不可欠の因子である。しかし、順応現象が時間依存的であるが故に、その特性を把握することは容易ではなく、地道な研究によって少しずつ実体が解明されつつあるのが現状である。嗅覚におけるにおいの発現機構自体が未解明であるために、順応現象を理論的にとらえようとするには限界があるが、換言すれば、様々な研究の結果として示される順応現象の特性は、におい物質の受容機構や情報処理過程を反映したものであることから、順応現象の解明を通じた嗅覚機構の実体へのアプローチも十分可能で

あると考えられる。このような観点からも、嗅覚における順応現象に関する研究は不可欠であり、今後も継続して検討を行う必要があると考えられる。

第4節 臭気の吸入時間と知覚強度の関係¹⁰⁵⁾

5-4-1 本実験の概要

臭気の吸入時間は、嗅感覚の時間特性の基本的要素の一つであるが、におい物質の吸入時間に対する知覚強度の変化に関して、現在までにいくつかの研究が行われてきた。DeVriesとStuiver¹⁰⁶⁾は、4種類のにおい物質を用いて閾値の測定を行い、吸入の際の最初の0.005~0.02秒においては濃度と時間の積が閾値レベルを決定する、すなわち、濃度の時間積分（分子の数の合計に対応）がある値になる時点でのにおいが検知されるが、さらに吸入時間が長くなると時間積分が影響因子にはならず、単位時間あたりの分子の数が閾値を決定することを示した。Schneiderら¹⁰⁷⁾も同様に、吸入時間が0.25~1.0秒においては時間積分が閾値の決定因子とはないと報告している。一方、Overboschら¹⁰⁸⁾はn-hexaneを一定濃度、一定流量で呈示し、0.25~6.0秒間の7段階の流出時間に対する知覚強度を回答させたところ、流出時間の増加にしたがって知覚強度も増大するが、その増加率は流出時間とともに小さくなることを示した。また、Osterhammelら¹⁰⁹⁾は、人間の嗅電図においては約0.1秒までに最大値が現れることを示した。

刺激性臭気物質の吸入時間に関する特性については、Cometto-MuñizとCain⁷⁴⁾の報告がみられるのみである。彼らは、におい物質である isoamyl butyrate と刺激性物質である ammonia を用いて、吸入時間を1.25、2.50、3.75秒間としたときの知覚強度を回答させた。その結果、isoamyl butyrate の知覚強度は吸入時間の増加にもかかわらずほとんど変化しなかったのに対して、ammonia の知覚強度は吸入時間の増加にしたがって増大した。彼らはさらに、濃度と吸入時間の様々な組合せで ammonia を呈示したときの知覚強度を測定し、これらの結果から、ammonia に関しては知覚強度の時間的加算性がほぼ成立し、三叉神経が濃度ではなく、物質の全体量を検知するものであることを指摘した。しかし、彼らが測定したのは“におい”と“刺激”を総合したものとしての“全体”の知覚強度であり、本章第2節においても述べたように、全く性質の異なる“刺激”と“におい”を同一の尺度上で総合的に判定させることは困難であると考えられることから、ammonia の知覚強度における“におい”と“刺激”の寄与が吸入時間に対してどのように変化するのかということは、彼らの報告だけでは判断できない。

このように、吸入時間とにおい物質の知覚強度の関係については若干の研究例がみられるが、刺激性臭気物質を用いた検討はほとんど行われてこなかった。しかし、適切な臭気の評価を行うためには、三叉神経性刺激の知覚特性を把握すること、さ

らに刺激性の感覚の発現機構を探索する観点からも三叉神経の様々な特性について検討することが必要である。また、官能試験法によって臭気の測定を行う場合、被験者の判定に試料の吸入量、吸入速度および吸入時間などが影響する^{107) 110)}。したがって、あらかじめこれらの影響度を把握し、最適な条件で測定することが必要であり、さらに臭袋¹¹¹⁾や動的オルファクトメータ¹¹²⁾など、試料の呈示方法によってもこれらの条件が変化することから、各々の方法において詳細な検討を行わなければならない。そこで本節では、吸入時間を変化させたときのにおい物質と刺激性物質の“におい”および“刺激”の感覚の知覚強度を臭袋を用いて測定し、各物質の知覚特性と、三点比較式臭袋法をはじめ、臭袋を用いて官能試験を行う際の留意点について考察した。

5-4-2 実験方法

1) 対象物質

本実験では、におい物質として酢酸エチル（果実様臭気）、刺激性物質のうち酸性物質としてギ酸、酢酸、プロピオン酸、塩基性物質としてアンモニア、メチルアミン、ジメチルアミンを用いた。各物質の性状を表5-2^{113) 114)}に示す。

2) 試験室

試験室は絶えず換気して常に無臭状態を保ち、室温18~20℃、相対湿度60~70%に保持した。

3) 被験者

本実験では、同一の物質について“におい”と“刺激”の両者の知覚強度を回答させる必要があったが、刺激性の感覚は一般的なにおいの感覚とは異なり、経験の少ない被験者が三叉神経性刺激の感覚と嗅覚性刺激の感覚を区別して回答すること

は容易ではない。そこで、被験者としては、官能試験の経験が豊富（1年以上の経験を有する）で、しかも刺激性に関する官能試験の経験を有する者とした。また、刺激性臭気物質は、濃度の設定条件を誤ると嗅覚障害を生じる危険性があり、人によっては体質的に過敏な反応を起こすことがあるので、被験者の数は、通常の官能試験の場合¹¹⁵⁾よりも極端に制限された。以上のようなことから、本実験の被験者としては、T&Tオルファクトテスト¹¹⁶⁾から嗅力の異常が認められない男子大学生4名（23~26歳）を用いた。

4) 感覚尺度構成

本実験における知覚強度の測定は、マグニチュード推定法によって行った。マグニチュード推定法は、呈示された試料に対し、無臭状態を0としてその強度に比例するように数値をあてはめて回答するものであり、これには標準試料（modulus）が与えられる場合と与えられない場合がある¹¹⁷⁾。すなわち、前者はあらかじめ特定の数値が指定された標準試料に対して、試験試料の強度がその何倍か、あるいは何割かということから試験試料の強度を回答するものである。一方、後者は次々と呈示される一連の試験試料に対して、被験者の心理量に比例した全く自由な数値を回答するものであり、得られた数値の相対的な比の値が意味をもつ^{117) 119)}。本実験では、“におい”と“刺激”の知覚強度の測定が目的であるが、物質内における相対的な変化の傾向のみならず、物質間における特性の違いを把握する必要があったため、標準試料を用意することによって、物質間のデータの比較を可能にした。

5) 試料濃度の調整

まず、1Lポリエステルバッグ内に活性炭層を通過させた清浄空気を封入し、それに液体試料の適量を注入して一定時間（2~3時間）静置し、液体試料と平衡状態に近いと考えられる高濃度飽和ガスを作成した。そして、この飽和ガスの適量をプラスチックシリンジで無臭空気（活性炭層通過空気）の入った3L臭袋に注入し、試料ガスの濃度調整を行った。なお、高濃度の刺激性臭気物質は嗅覚に障害をもたらす可能性があり、また、かなりの不快性を伴うことから、実験者は飽和ガスの注入量に細心の注意を払って濃度調整を行った。濃度段階は、酢酸エチルは4段階（30ppm、60ppm、120ppm、240ppm）、他の6物質は3段階（ギ酸、酢酸、プロピオン酸については15ppm、30ppm、60ppm、アンモニア、メチルアミン、ジメチルアミンについては50ppm、70ppm、100ppm）であり、酢酸エチルとギ酸、酢酸、プロピオン酸は2倍系列、アンモニア、メチルアミン、ジメチルアミンは1.5倍系列であった。また、試料ガス濃度は検知管法によって測定した。

6) 実験手順

本実験では、酢酸エチルについては“におい”の知覚強度を、他の6物質については“におい”と“刺激”の両者の知覚強度を測定した。実験者は、まず被験者に

表5-2 実験で用いた物質の性状

物質名	示性式	分子量	閾値(ppm) ^{113) 114)} *
酢酸エチル	CH ₃ COOCH ₂ CH ₃	88.10	0.87
ギ酸	HCOOH	46.02	0.46
酢酸	CH ₃ COOH	60.05	0.0060
プロピオン酸	C ₂ H ₅ COOH	74.08	0.0057
アンモニア	NH ₃	17.03	1.5
メチルアミン	CH ₃ NH ₂	31.06	0.035
ジメチルアミン	(CH ₃) ₂ NH	45.08	0.033

* ギ酸は文献113)、他は文献114)による。

表5-3に示す標準臭気を与え、通常の呼吸状態で臭袋を手で軽く押さえながら2秒間吸入したときの知覚強度をマグニチュード10とするように指示した。ここで、標準臭気を表5-3のように選定したのは以下の理由による。

- ①酸性物質と塩基性物質のように性質の類似したグループで分けることによって、“におい”、“刺激”ともに判定が容易になる。
- ②同じ物質でも“におい”と“刺激”の強度に違いがあるので、“におい”と“刺激”の各々について最適な標準臭気を選定する必要がある。
- ③マグニチュード推定法の性質上、全判定結果の中央付近に標準が存在することによって、バイアスが小さくなる¹²⁰⁾。

次に、実験者は所定の濃度に調整した試料ガスを各被験者に呈示し、通常の呼吸状態で1.0、2.0、3.0および4.0秒間吸入させ、そのときの知覚強度をマグニチュード推定法によって回答させた。例えば、テスト臭気の知覚強度が標準臭気の2倍であると感じれば20を、2分の1であると感じれば5を回答することになる。ここで、被験者に対してはできるだけ一定の調子で吸入すること、および指定された時間吸入を行った最後の時点での知覚強度を回答するように指示した。試料吸入の開始と終了の合図は1秒間隔で鳴るアラームとストップウォッチを併用して行い、各テスト臭気は濃度と吸入時間によらずランダムな順序で呈示した（恒常法¹²¹⁾）。以上の操作を各物質ともに“におい”と“刺激”について別々の日に各人2回ずつ行った。

5-4-3 実験結果および考察

マグニチュード推定法によって得られたデータの分布は正規型にはならず¹²²⁾、

表5-3 標準臭気として用いた物質

テスト臭気		標準臭気 (マグニチュード10)	
酢酸エチル	“におい”	酢酸エチル	60ppm
ギ酸	“におい”	酢酸	15ppm
酢酸		ギ酸	30ppm
プロピオン酸	“刺激”		
アンモニア	“におい”	メチルアミン	50ppm
メチルアミン		アンモニア	100ppm
ジメチルアミン	“刺激”		

対数正規分布に近似するともいわれている¹²³⁾ことから、本実験では得られたデータの幾何平均値をとり、代表値とした。図5-9および図5-11には、酢酸エチルの“におい”および刺激性物質6物質の“におい”、“刺激”の知覚強度の吸入時間による変化を示す。図5-9をみると、酢酸エチルの“におい”の知覚強度は低濃度では吸入時間とともに増大するが、高濃度では逆に減少しており、Overboschら¹⁰⁸⁾やCometto-MunizとCain⁷⁴⁾が報告したように、“におい”の知覚強度は、吸入時間が長くなっても単調な増加を示さないことがわかる。図5-11の刺激性物質の“におい”の知覚強度の測定結果についても酢酸エチルの場合とほぼ同様の傾向が認められる。一方、図5-11の“刺激”の知覚強度の変化をみると、各物質ともにほぼ直線的な傾向を示している。このように、同一の物質で“におい”と“刺激”の両者の感覚を有するものについては、各々の感覚に関して時間特性が異なることが明らかとなった。すなわち、濃度が高くなるにつれて全体の知覚強度に対する三叉神経性刺激の寄与が大きくなることが報告されている³⁸⁾が、吸入時間の増加に対しても“刺激”の感覚がより支配的になることが示された。

以上は、吸入時間と知覚強度の関係についての結果であるが、図5-10および図5-12には、酢酸エチルの“におい”および刺激性物質6物質の“におい”、“刺激”の知覚強度の濃度による変化を示す。図5-10の酢酸エチルの結果をみると、各吸入時間についてはほぼ直線的な傾向がみられるが、吸入時間が長くなるにつれて次第に傾きが小さくなっている。一方、図5-12の刺激性物質の“刺激”の知覚強度の変化をみると、ほぼ直線的な傾向が認められる。このように、刺激性物質の“刺激”の知覚強度については、吸入時間と知覚強度の関係（図5-11）および濃度と知覚強度の関係（図5-12）の両者においてほぼ直線的な傾向がみられる。そこで、刺激性の感覚の発現に際して、物質の受容過程に基づいた感覚的特性が吸入

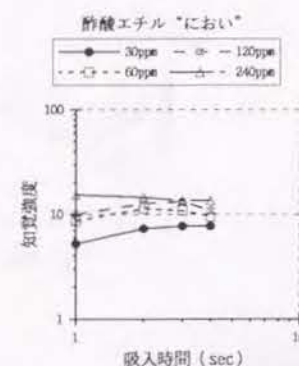


図5-9 酢酸エチルの吸入時間と“におい”の知覚強度の関係

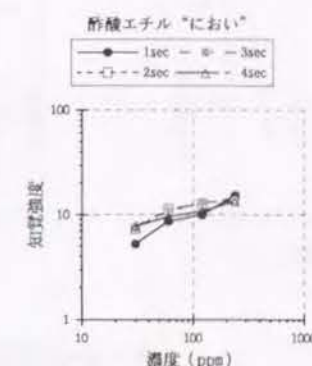


図5-10 酢酸エチルの濃度と“におい”の知覚強度の関係

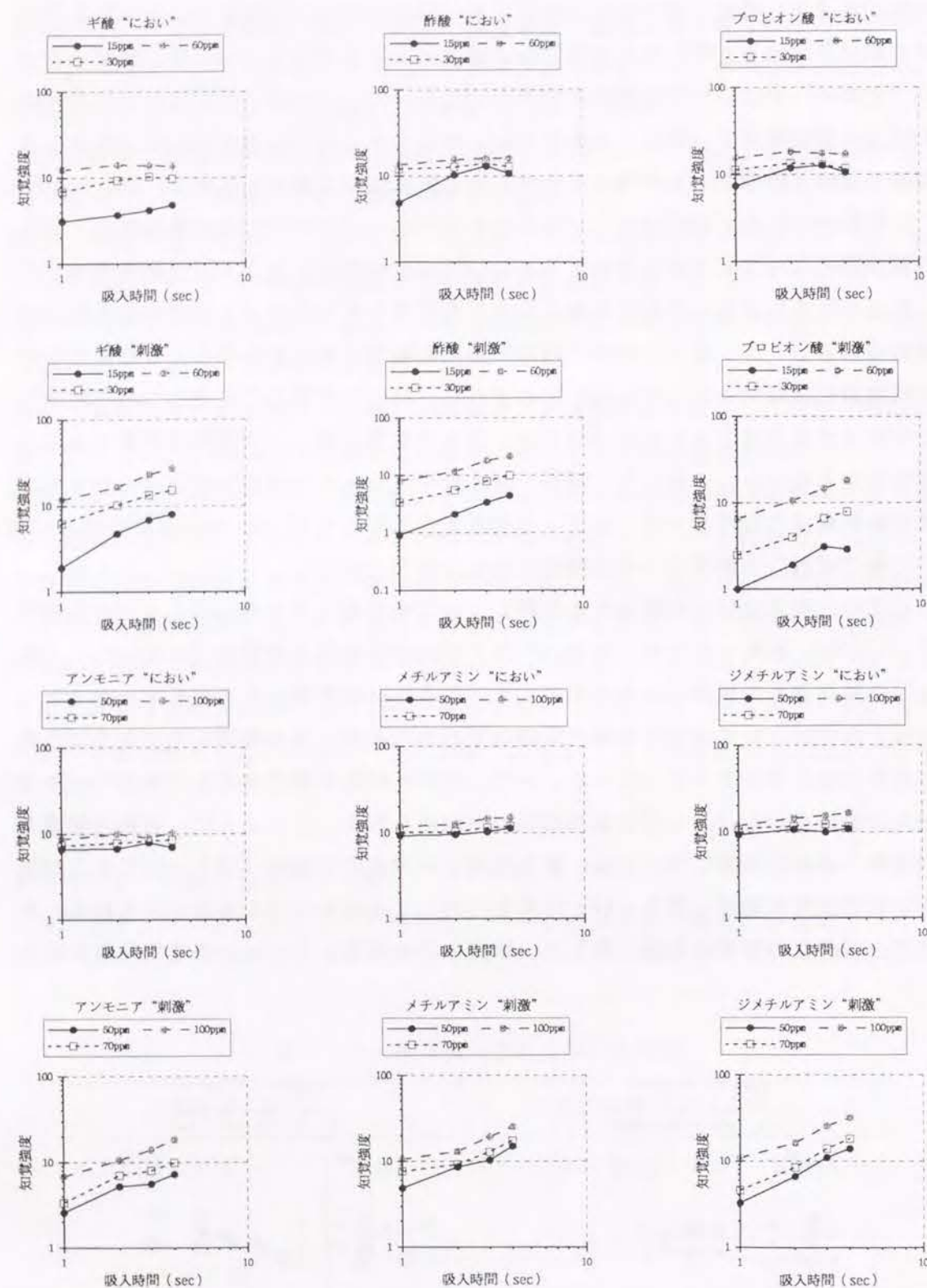


図5-11 刺激性物質の吸入時間と知覚強度の関係
最上段および第三段は“におい”、第二段および最下段は“刺激”の知覚強度を表す。

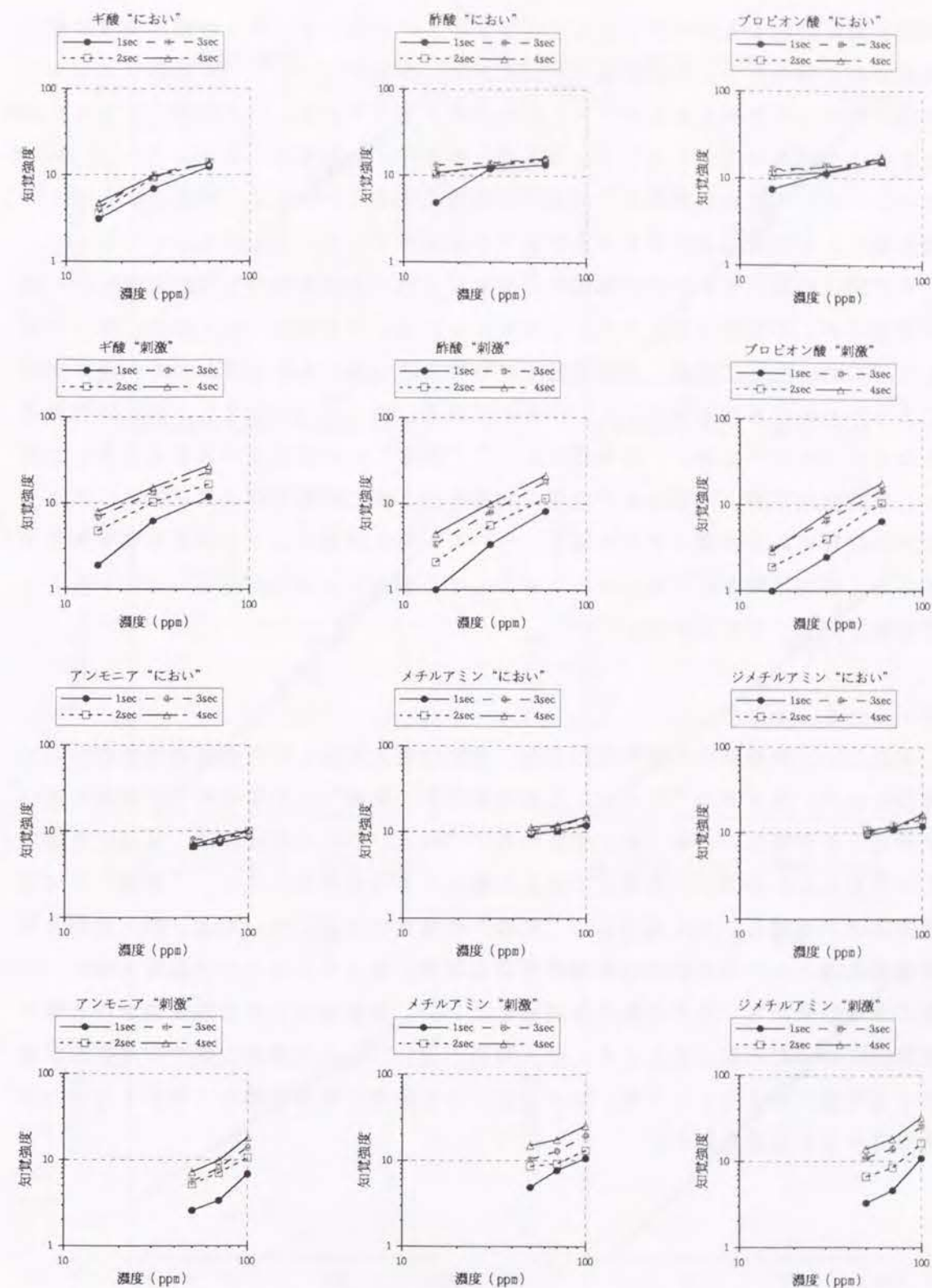


図5-12 刺激性物質の濃度と知覚強度の関係
最上段および第三段は“におい”、第二段および最下段は“刺激”の知覚強度を表す。

時間と濃度に対する共通因子として作用するとの見地から、吸入時間と濃度の積と、知覚強度の関係を示したのが図5-13であり、各物質についてべき関数 $y = ax^b$ への回帰を行った結果をまとめて示したのが表5-4である。べき関数では $b=1.0$ のときに比例関係が成立することになるが、表5-4をみると、おおよそ1.0近辺の値となっており、刺激性物質の“刺激”の感覚の発現においては、物質濃度と吸入時間の積としての全体の物質量が重要な因子となっていることが明らかとなった。

本実験の結果から、三点比較式臭袋法をはじめ、臭袋を用いた官能試験を行う際の留意点としては以下のようなことが考えられる。すなわち、吸入時間の変化に対して“におい”と“刺激”の知覚強度に特性の違いがみられたことから、吸入時間によって臭気の変化することが考えられる。図5-11によると、吸入時間が長くなるにつれて“におい”の感覚に比べて“刺激”の知覚強度が大きく上昇しており、官能試験において質および強度の判定を行う際には注意が必要である。また、におい物質である酢酸エチルの場合についても吸入時間によって知覚強度が変化するため、官能試験を行う場合は、できるだけ各被験者の吸入時間を一定にすることが重要であると考えられる。

5-4-4 まとめ

本節では、嗅感覚の時間特性のうち、臭気の吸入時間と知覚強度の関係について検討したが、嗅覚性の“におい”と非嗅覚性の“刺激”との間に様々な特性の違いがあることが明らかとなった。すなわち、“におい”の知覚強度は、低濃度では吸入時間とともに増大し、高濃度では逆に減少する傾向を示したが、“刺激”の知覚強度は吸入時間とともに増大し、“刺激”の感覚の発現においては、吸入時間と物質濃度の積としての全体の物質量が重要な因子となっていることが認められた。このような結果から、三点比較式臭袋法をはじめ、臭袋を用いた官能試験を行う際の留意点について考察したところ、吸入時間の違いによって臭気の変化や知覚強度が変化する可能性があることから、できるだけ各被験者の吸入時間を一定にすることが重要であると考えられた。

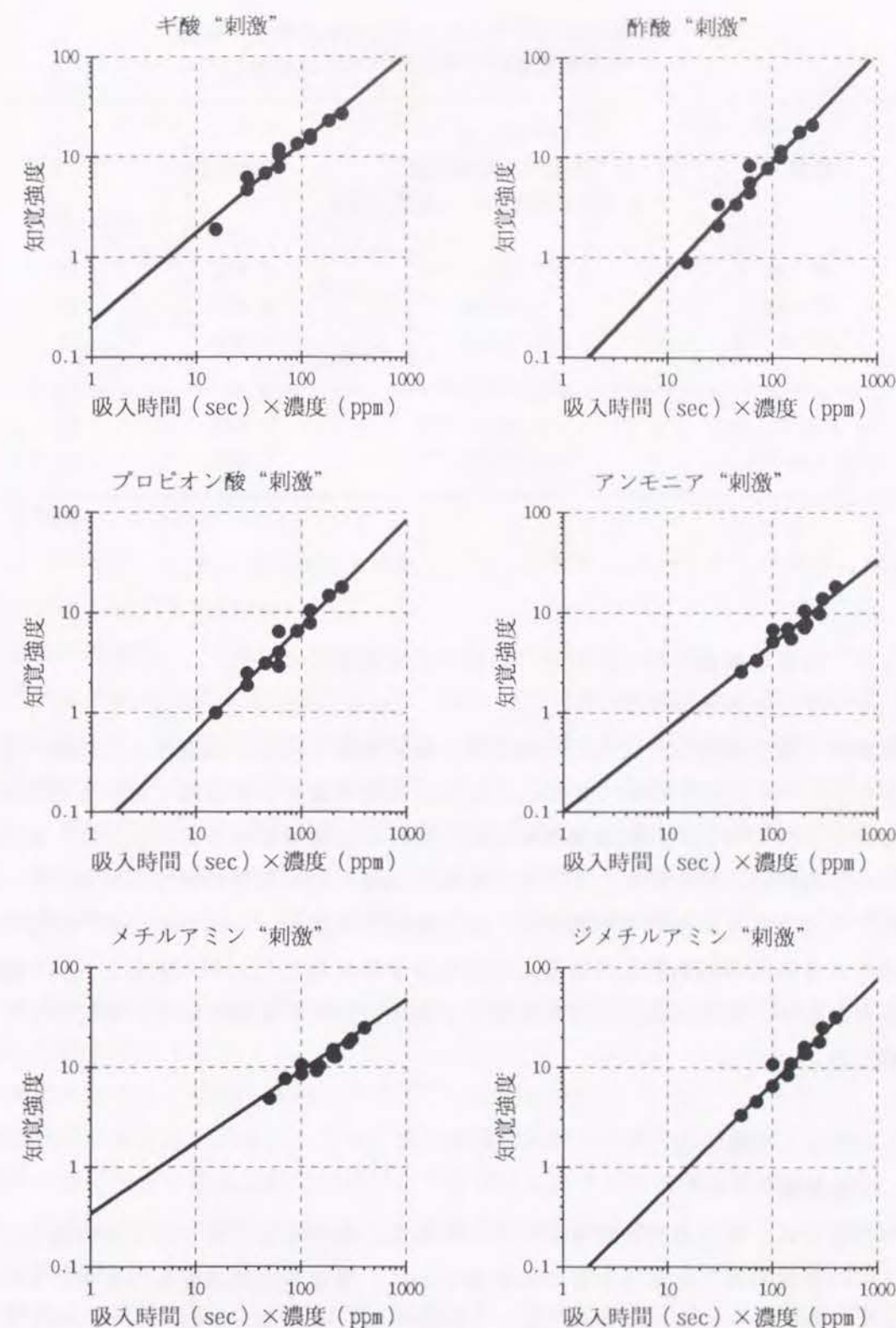


図5-13 刺激性物質の吸入時間と濃度の積と
“刺激”の知覚強度との関係
実線は回帰直線を表す。

表5-4 刺激性物質の吸入時間と濃度の積と“刺激”の知覚強度のべき関数への回帰結果

物質名	回 帰 式 y: “刺激”の知覚強度 x: 吸入時間(sec) × 濃度(ppm)	相関係数	データ数
ギ 酸	$y=0.230x^{0.893}$	0.974	12
酢 酸	$y=0.0570x^{1.10}$	0.974	12
プロピオン酸	$y=0.0590x^{1.05}$	0.975	12
アンモニア	$y=0.100x^{0.846}$	0.950	12
メチルアミン	$y=0.343x^{0.699}$	0.967	12
ジメチルアミン	$y=0.0572x^{1.05}$	0.971	12

第5節 臭気の曝露初期(30秒間)における知覚強度の変化

5-5-1 本実験の概要

本章第3節で説明したように、嗅感覚の順応現象に関しては現在までに様々な観点から多くの研究が行われてきた。しかし、臭気曝露の初期段階における検討はほとんどなされておらず、順応機構解明のための基礎資料を得るだけでなく、官能試験における呼吸回数を決定するうえでも臭気の吸入初期段階における知覚特性の把握が不可欠である。そこで本節では、臭気物質を曝露し、4秒サイクルで呼吸を行わせたときの初期30秒間における知覚強度の変化を測定し、その特性について検討するとともに、官能試験における被験者の判定に及ぼす呼吸回数の影響についても考察した。

5-5-2 実験方法

1) 対象物質

本実験では、指定悪臭物質をはじめ、刺激臭、果実臭など様々なにおい質を有する C_3H_7 の飽和炭化水素鎖を含む物質を中心に、異なる官能基をもつ6物質を用いた。すなわち、アルコール類として1-ブタノール、アルデヒド類としてn-ブチルアルデヒド、脂肪酸類としてn-酪酸、ケトン類として2-ペンタノン、エステル類としてn-酪酸エチルおよび酢酸n-ブチルを用いた。各物質の性状を表5-5¹¹⁴⁾に示す。

2) 試験室

5-4-2の2)と同様であった。

表5-5 実験で用いた物質の性状

物質名	示性式	分子量	閾値(ppm) ¹¹⁴⁾
1-ブタノール	C_4H_9OH	74.12	0.038
n-ブチルアルデヒド	C_3H_7CHO	72.10	0.00067
n-酪酸	C_3H_7COOH	88.11	0.00019
2-ペンタノン	$CH_3COC_3H_7$	86.13	0.028
n-酪酸エチル	$C_3H_7COOC_2H_5$	116.16	0.000040
酢酸n-ブチル	$CH_3COOC_4H_9$	116.16	0.016

3) 被験者

5-4-2の3)と同様の条件を満たし、嗅力に異常の認められない男子大学生4名(22~27歳)を用いた。

4) 感覚尺度構成

本実験における知覚強度の測定は、マグニチュード推定法のうち、標準試料を与えない方法¹¹⁷⁾¹²⁴⁾で行った。すなわち、次々と与えられる試験試料に対して、被験者が無臭状態を0として自分の感覚量に比例した全く自由な数値を回答するものであり、各被験者ごとに絶対的な尺度の概念が存在し、試験試料をその尺度の上に乗せて数値を回答することになる。したがって、得られた数値の変化は感覚量の変化と直接対応したものとなる。本実験でこのような方法を採用したのは以下の理由による。

①被験者は連続的に試料を嗅ぎ続けるため、標準試料を与えてもその概念を忘れてしまう恐れがある。

②標準試料の存在に起因するバイアス¹²⁰⁾の影響がない。

実際の測定における手続きとしては、まず曝露開始時の試料の知覚強度として、各被験者に全く任意の数値をあてはめるように指示し、その後の連続的曝露時には、最初の試料に対する相対的な値として知覚強度を回答させた。

5) 実験装置

実験装置の概要を図5-14に示す。本装置は、活性炭層を通過させた無臭空気と高濃度試料ガスを、流量調節弁やスロットルを用いて任意の割合で混合させることによって、一定濃度の臭気を長時間連続的に呈示するためのものである。無臭空気と試料臭気は、ボタン操作によって瞬時に切り替えることができるようになっている。

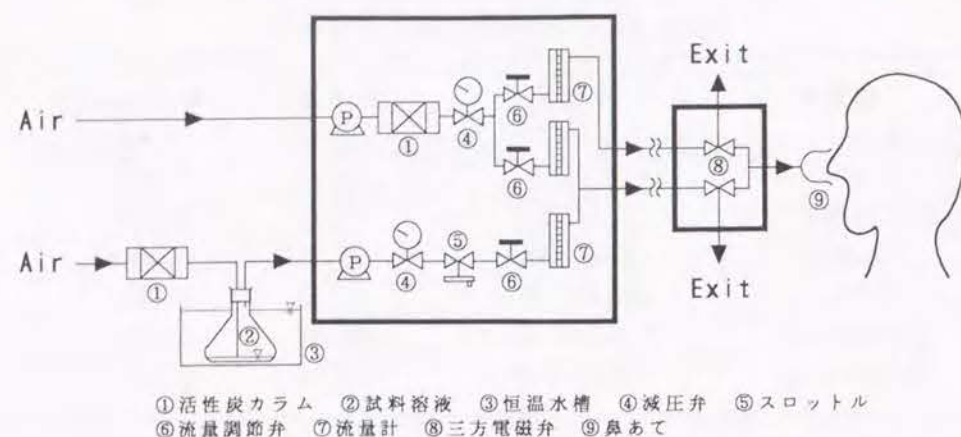


図5-14 臭気の連続的曝露に用いた実験装置の概要

6) 試料の呈示

試料溶液の適量を1L三角フラスコに封入した後、恒温水槽内(20℃)にて一定時間(2~3時間)静置し、気液相がほぼ平衡に達したと考えられるところで装置に導入し、流量調節弁およびスロットルで流量調節を行い、活性炭層通過後の無臭空気と混合させたものを試料ガスとして被験者に呈示した。試料ガスの呈示流量は4L/minで、濃度は各物質ともに6段階臭気強度尺度(表4-1)における臭気強度でおおよそ2.5(低濃度レベル)および4.0(高濃度レベル)に相当する2段階とした。すなわち、1-ブタノールが12ppmと67ppm、n-ブチルアルデヒドが10ppmと27ppm、n-酪酸が0.3ppmと9ppm、2-ペンタノンが8ppmと37ppm、n-酪酸エチルが1.2ppmと32ppm、そして酢酸n-ブチルが27ppmと67ppmであった。試料ガス濃度は、1-ブタノール、n-酪酸および酢酸n-ブチルについては検知管法、n-ブチルアルデヒド、2-ペンタノンおよびn-酪酸エチルについてはGC-FID法によって各実験の前後に測定し、調整を行った。GC-FIDの測定条件は表5-6に示す通りである。

7) 実験手順

本実験では、各物質について“におい”の知覚強度の測定を行った。実験者は、まず嗅覚疲労の生じていない被験者の鼻を鼻あてに軽くあてがわせ、アラームに合わせて4秒サイクルの呼吸、すなわち2秒間鼻から吸入し、2秒間口から吐出する動作を連続して行わせた。そして、呼吸が安定したところで、実験者はアラームの開始の合図とともに試料ガスを装置から連続的に呈示し、1呼吸目(2秒後)、2呼吸目(6秒後)、3呼吸目(10秒後)、5呼吸目(18秒後)および8呼吸目(30秒後)における知覚強度をマグニチュード推定法によって回答させた。ここで被験

表5-6 GC-FIDの測定条件

検出器	: FID (水素炎イオン化検出器) YANACO G-2800
充填剤	: ポリエチレングリコール20M 10% 60/80
カラム	: ガラス 3mmφ×2m
カラム温度	: 50~150℃ (20℃/minの昇温モード)
注入口温度	: 170℃
検出部温度	: 170℃
H ₂ ガス流量	: 1.0kg/cm ²
空気流量	: 1.0kg/cm ²
キャリアガス (He) 流量	: 1.0kg/cm ²

者は、1呼吸目の知覚強度に任意の数値をあてはめ、その後変化する知覚強度に比例するように数値を対応させ、実験後、被験者が口頭で回答したものを実験者が記録した。なお、短時間における測定であるため、呼吸ごとに変化する知覚強度を記憶するのが困難であると申請した被験者に対しては、同一条件においてまず10秒間呈示し、3呼吸目までの知覚強度を回答してもらい、その後、嗅覚の疲労を十分回復させた後に30秒間呈示し、5呼吸目、8呼吸目の知覚強度を回答してもらうというように2回に分けて測定を行った。以上の操作を各物質、各濃度段階ともに各人2回ずつ行った。

5-5-3 データの平均化

本実験では、標準試料を用いないマグニチュード推定法によって知覚強度を測定したために、各被験者の回答した数値自体ではなく、その相対的な値が重要になる。そこで、被験者の回答の特性を損なわないように、以下の手順でデータの平均化を行った。

まず、同一物質、同一濃度段階において、各被験者の各測定におけるすべての回答値の幾何平均を求めた。次に、この幾何平均(4人×2回で8回分)の算術平均を求め、各測定ごとの幾何平均がその算術平均となるように、すべての回答値に定数をかけた。そして最後に、各測定の回答値の算術平均を時間ごとに求めて知覚強度を算出した。

一方、このままでは各物質、各濃度において回答の判断尺度が異なるために、平均化後のデータの一律な比較ができない。そこで、便宜上次のように数値を揃えることによって、各物質、各濃度段階相互の比較を可能にした。すなわち、6段階臭

気強度尺度の2.5と4.0に対応する強度の試料について、マグニチュードの回答値の比を本実験で用いた装置によって測定したところ、被験者全員がほぼ3:10と回答したことから、任意に30と100という数値を選定し、低濃度レベルと高濃度レベルのそれぞれの1呼吸目における知覚強度が30と100になるように各回のデータすべてに定数をかけた。

5-5-4 実験結果および考察

5-5-3で述べた平均化の手法を適用して“におい”の知覚強度の経時変化を算出し、図示したのが図5-15である。これをみると、知覚強度の時間的減衰について、次のような3種類の傾向が認められる。

- ①減衰し続けるもの。
- ②ほぼ等強度を保った後に減衰し続けるもの。
- ③一旦強度が増加した後に減衰し続けるもの（増加量は1割程度）。

これらの傾向を各物質および各濃度段階ごとにまとめたものを表5-7に示す。また、同時に1呼吸目の知覚強度に対する2呼吸目および8呼吸目の知覚強度の割合も示す。ここで②と③は、被験者2人以上にみられたものについて示している。②についてみると、等強度を保つのは2呼吸目および3呼吸目までであり、また③については、2呼吸目のみ5%程度増加し、3呼吸目からは1例を除き1呼吸目よりも減少した。一方、濃度が高くなるにしたがって①が②へ、あるいは②が③へ変化する傾向が認められ、また高濃度になるほど知覚強度の減少する割合が小さくなっている。さらに、表5-7中の1呼吸目に対する2呼吸目の知覚強度の割合をみると、おおよそ90~105%となっていることから、2呼吸目において知覚強度を判断する場合は、1呼吸目に比べて10%前後の差を示す可能性のあることが明らかになった。

Ekmanら⁸⁴⁾やCain⁹⁰⁾によると、順応現象においては知覚強度は指数関数的に減少するとされているが、①の傾向はこれに合致するものの、②および③の傾向はこれに反する。また、本章第3節で述べたように、相互順応における促進現象の存在がEngenとBosack⁹⁶⁾によって見いだされ、さらにいくつかの報告例^{97) 98)}もあるが、今回のような自己順応についての指摘はされていない。しかし伊藤¹⁰²⁾によると、モルモットを用いた同一のにおい物質の反復刺激における嗅電図の測定において、呼吸の増加にしたがって嗅応答が増大していく傾向が示されており、短時間スケールでは、本実験で認められたように、知覚強度の一時的な増大が起こる可能性があると考えられる。②や③の発現機構については、においの知覚メカニズム自体が未だ解明されていないために詳細は不明であり、今後さらに多くの物質について検討を行い、それらの物理化学的特性と知覚強度の変化を対応させながら考察する必要

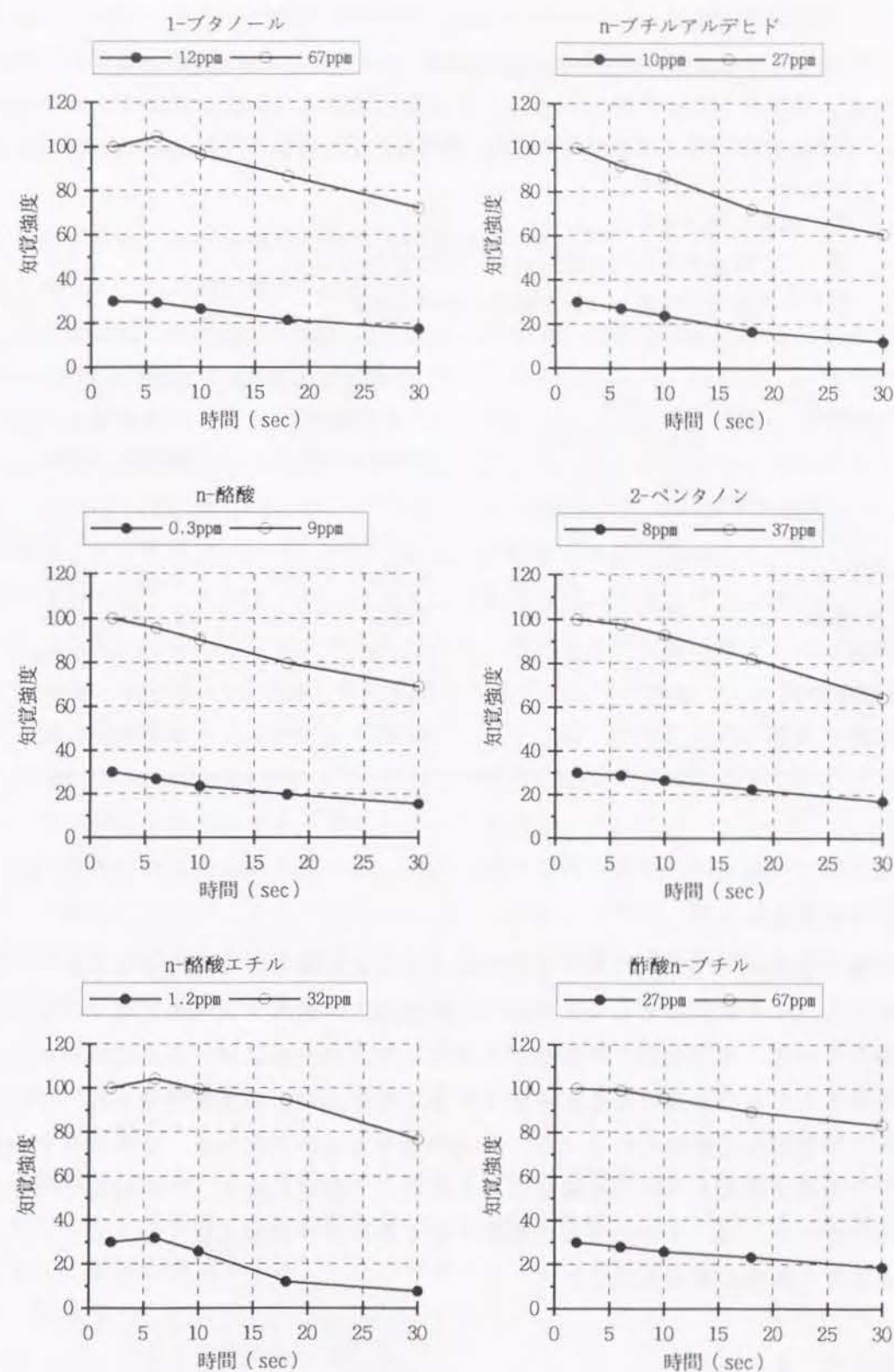


図5-15 臭気物質の曝露初期30秒間における知覚強度の経時変化

表5-7 臭気物質の曝露初期30秒間における知覚強度の変化の傾向

注)「傾向」の数字は以下の状況を表す。ただし、②と③は被験者2人以上にみられたものについて示す。

- ①：減衰し続けるもの
②：ほぼ等強度を保った後に減衰し続けるもの
③：一旦強度が増加した後に減衰し続けるもの

物質名	傾向		1呼吸目の知覚強度に対する割合			
	低濃度	高濃度	2呼吸目		8呼吸目	
			低濃度	高濃度	低濃度	高濃度
1-ブタノール	②	②	0.974	1.05	0.589	0.722
n-ブチルアルコール	①	①	0.903	0.916	0.402	0.609
n-酪酸	①	①	0.891	0.955	0.515	0.693
2-ペンタノール	②	②	0.958	0.977	0.571	0.645
n-酪酸エチル	②③	③	1.07	1.04	0.263	0.767
酢酸n-ブチル	①	②	0.935	0.991	0.628	0.832

があると考えられる。

本実験の結果から、三点比較式臭袋法などの官能試験を行う際の留意点について考察すると、1呼吸目に対して2呼吸目の知覚強度が増大する場合と減少する場合があることから、知覚強度や閾値などの適切な測定のためには、最初の呼吸時において判断することが必要であると考えられる。特に三点比較式臭袋法では、試料吸入の操作が被験者に委ねられており、具体的規定もないことから、オペレータが事前に十分指導するとともに、被験者自身も集中して測定に臨み、1呼吸目で判断できなかったときには、十分に嗅覚を回復させてから再び試料を吸入し、判定を行うことが重要であると考えられる。

5-5-5 まとめ

本節では、臭気の曝露初期30秒間における知覚強度の経時変化を測定し、その特性について検討するとともに、官能試験の判定における呼吸回数の影響についても考察した。その結果、知覚強度の経時変化は、①減衰し続けるもの、②ほぼ等強度を保った後に減衰し続けるもの、③一旦強度が増加した後に減衰し続けるもの、の

3種類の傾向のあることが明らかになった。そこで、三点比較式臭袋法などの官能試験を行う際の留意点について考察したところ、1呼吸目に対して2呼吸目の知覚強度が増大する場合と減少する場合があることから、知覚強度や閾値などを測定する場合には、最初の呼吸時において判断することが必要であると考えられた。

第6節 臭気の連続的曝露に対する知覚強度の変化^{10.5)}

5-6-1 本実験の概要

臭気を持続的に呈示していると閾値の上昇や感覚的強度の低下がみられるという嗅覚の順応現象については、すでに本章第3節で述べたが、現在までに検討されてきたのは大部分が“におい”物質であり、臭気の強度および不快性に大きく影響すると考えられる刺激性の感覚に関しては以下のような研究例がみられるのみである。Elsbergら^{3.6)}は、鼻孔内にoil of cade、turpentine、citralなどを送入したときの“刺激”の知覚強度の時間的推移を測定した結果、時間の経過にしたがって、“刺激”が強くなり、やがて一時的に弱くなるが、再び知覚強度の上昇がみられることを報告した。しかし、なおも送入を続けると次第に知覚強度は低下し、“刺激”の感覚において疲労(fatigue)が起こることを指摘している。一方、KerkaとKaiser^{12.5)}は、室内でのタバコの煙に対する“におい”と“刺激”の強度評価をカテゴリー尺度を用いて行った結果、“におい”の感覚に関しては順応が起こるが“刺激”の感覚は時間の経過とともに強くなることを明らかにした。

以上の報告からもわかるように、三叉神経性刺激の時間的推移は、一般的な“におい”物質とは異なることが考えられる。そこで本節では、におい物質と刺激性物質を連続的に曝露したときの“におい”および“刺激”の知覚強度を測定し、その時間特性について検討した。

5-6-2 実験方法

1) 対象物質

本実験では、5-4-2の1)と同様に、におい物質として酢酸エチル(果実様臭気)、刺激性物質のうち酸性物質としてギ酸、酢酸、プロピオン酸、塩基性物質としてアンモニア、メチルアミン、ジメチルアミンを用いた。

2) 試験室

5-4-2の2)と同様であった。

3) 被験者

5-4-2の3)と同様の条件を満たし、嗅力に異常の認められない男子大学生3名(23~26歳)を用いた。

4) 感覚尺度構成

5-5-2の4)と同様であった。

5) 実験装置

5-5-2の5)と同様であった。

6) 試料の呈示

試料の作成と呈示方法は、5-5-2の6)と同様であった。濃度は、各物質ともに2段階であり、酢酸エチルは35ppmと130ppm、刺激性の6物質については「“におい”を感じるが“刺激”は感じない」レベル（低濃度レベル）と、「“におい”に加えて“刺激”もわずかに感じる」レベル（高濃度レベル）で、それぞれギ酸12ppm、30ppm、酢酸15ppm、40ppm、プロピオン酸20ppm、60ppm、アンモニア20ppm、60ppm、メチルアミン12ppm、45ppm、ジメチルアミン20ppm、50ppmであった。また、試料ガス濃度は、各実験の前後において検知管法によって測定し、調整を行った。

7) 実験手順

本実験では、酢酸エチルについては“におい”の知覚強度を、他の6物質については“におい”と“刺激”の両者の知覚強度を測定した。実験者は、装置から試料ガスを呈示し、被験者にアラームに合わせて2秒間鼻から吸入し、2秒間口から吐出する動作を連続して行わせ、20秒ごとに“におい”または“刺激”の知覚強度をマグニチュード推定法によって回答させた。被験者は、最初嗅いだときの知覚強度に任意の数値をあてはめ、その後変化する知覚強度に比例するように数値を対応させて回答し、被験者が口頭で回答したものを実験者が記録した。20秒ごとの測定はアラームの合図によって行い、この測定を連続10分間の曝露について行った。その後、直ちに試料ガスの呈示を停止し、被験者には無臭空気に対してアラームに合わせた同様の呼吸を行わせ、30秒あるいは1分ごとに一時的に試料ガスを呈示して、同様に知覚強度を回答させた。この操作を試料ガスの呈示停止後10分間にわたって行い、合計20分間で1回の測定を終了した。さらに測定終了後、測定中の嗅覚の変化の様子について被験者に報告を求めた。以上の操作を各物質ともに“におい”と“刺激”について各人2回ずつそれぞれ別の日に行った。

5-6-3 データの平均化

本実験で得られたデータのうち、“におい”の知覚強度に関しては、5-5-3と同様にデータ全体について平均化を行った。ただし、各物質、各濃度で数値を揃える操作はしていない。一方、“刺激”の知覚強度の場合、時間の経過とともに知覚強度が増大し、しかも変動する傾向を示したので、各被験者の特性を損なわないように、時間-強度曲線の平均化の手法^{126) 127)}を参考にして、各被験者ごとにデータの平均化を行った。時間-強度関係についての研究は、味覚測定分野で広く

行われてきたが、測定データの平均化を行うことは不可欠であり、そのための様々な手法が開発されてきた^{126) 128)}。本実験の“刺激”の知覚強度に関しては、LiuとMacFie¹²⁷⁾の手法を参考にして、以下の手順によって各被験者ごとに平均化を行った(図5-16)。

①各データを知覚強度が谷(I_{min})になる時間(t_{min})で区切る。平坦部分となっている場合は、その両端で区切る。

②①で区切った各々のピーク(山)の最大強度(I_{max})とその時間(t_{max})を求める。ピーク上端が平坦部分となっている場合は、その両端で区切る。

③各データの対応するピークについて t_{max} 、 t_{min} の算術平均を求める。

④同じく I_{max} 、 I_{min} の算術平均を求める。

⑤各々の t_{max} および t_{min} の間にある測定点(20秒ごと)で I の算術平均を求める。

ここで、明らかなピークの認められなかったデータについては、他方のデータとの算術平均を求めて平均化を行った。さらに、このようにして得られた3人の被験者の曝露開始時の知覚強度の幾何平均を求め、各被験者の値がその幾何平均となるように定数をかけて最終的な結果として表した。ただし、低濃度レベルでは曝露開始時の知覚強度が0であったため、同物質の高濃度レベルでの変換時に用いたものと同じ定数をかけて表した。

5-6-4 実験結果および考察

図5-17には、各物質の“におい”の知覚強度の変化を示す。600秒(10分)までは臭気物質の連続的曝露であり、その後1200秒(20分)までの10分間は回復の過程を表している。酢酸エチルの“におい”の知覚強度の経時変化をみると、時間の経過とともに知覚強度が減少し、ほぼ一定となって推移している。また、回復過程においては初期の段階で急激に回復し、6~7分で完全な回復がみられ、Ekmanら⁸⁴⁾の報告と同様の傾向を示している。一方、刺激性物質6物質における“におい”の知覚強度の経時変化をみると、各物質ともに酢酸エチルと同様の変化を示しており、刺激性物質であってもその“におい”としての感覚は一般的なにおい物質と類似の傾向を示すことが認められる。図5-18には、刺激性物質の“刺激”の知覚強度の経時変化を各被験者ごとに平均化した結果を示すが、これをみると、各物質、各濃度レベルともに時間の経過とともに知覚強度が上昇しており、におい物質とは全く異なる傾向を示している。また、“刺激”の知覚強度には時間的変動がみられるが、この傾向はすべての被験者の実験後の報告においても認められた。回復過程においては、初期から知覚強度がかなり低くなっているが、実験後の被験者の報告から、嗅覚の麻痺によって知覚強度が見かけ上低下したことも考えられる。

このように、“刺激”の知覚強度が時間とともに増大し、しかも、最初“刺激”

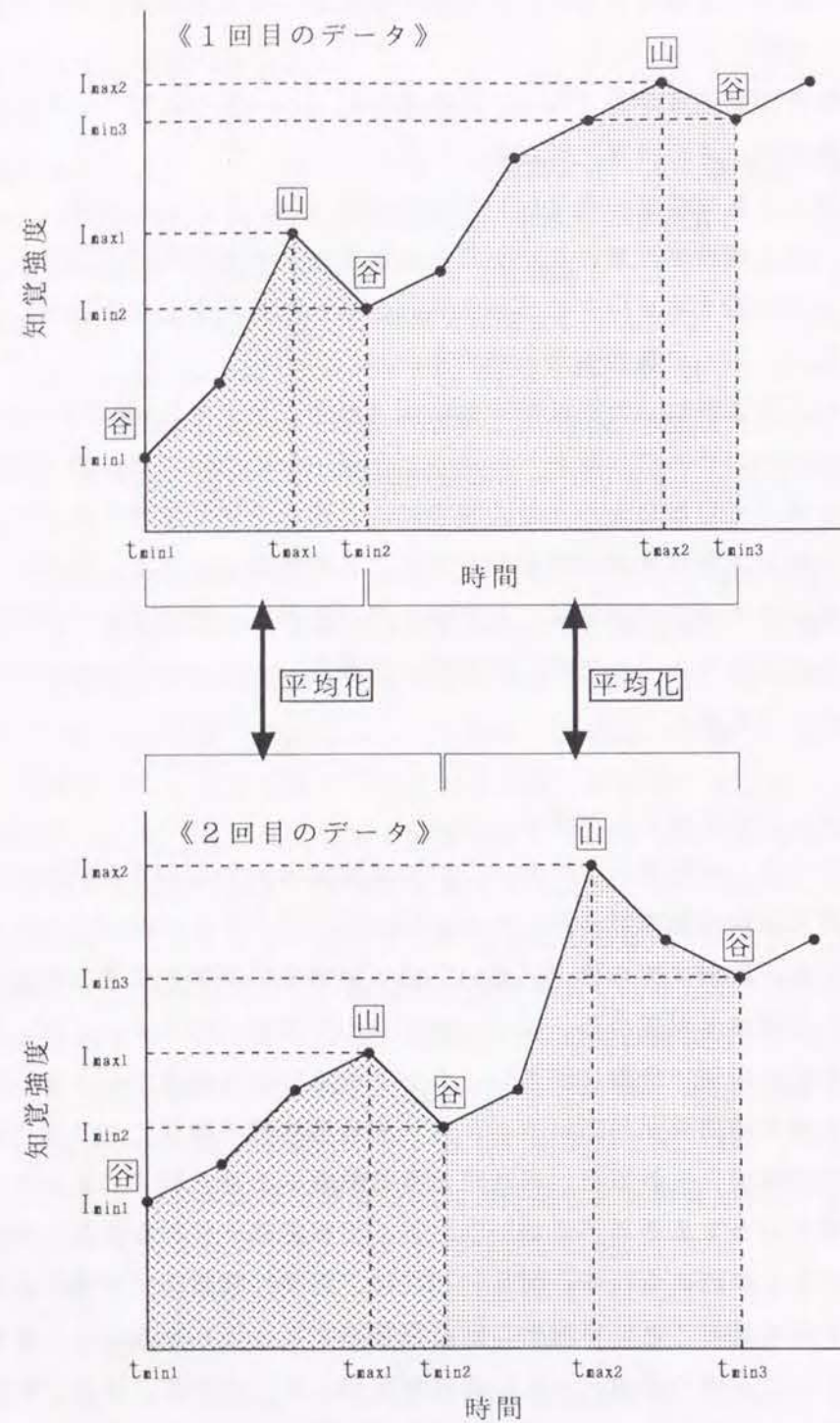


図5-16 データの平均化の概念図

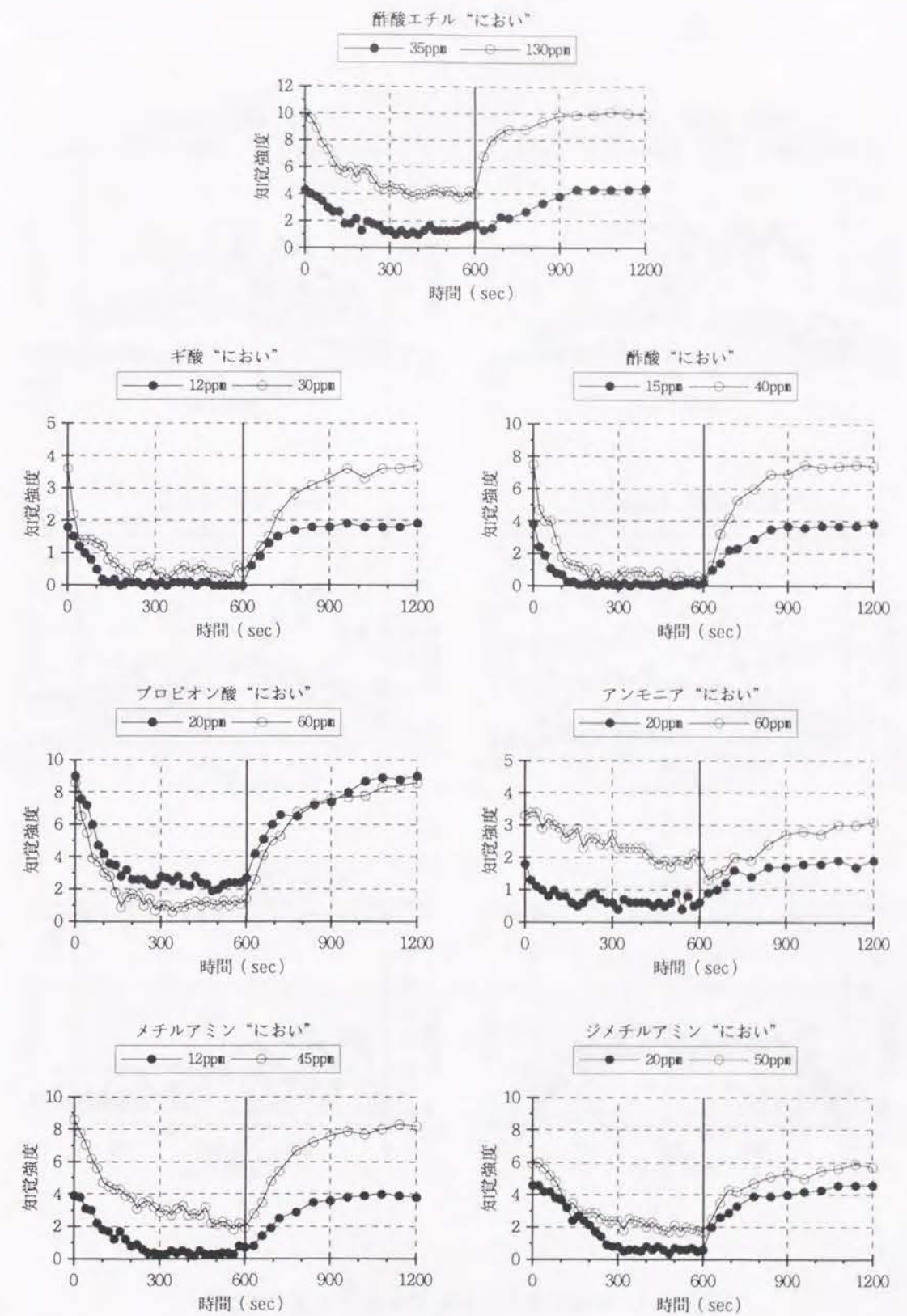


図5-17 臭気物質の連続的曝露による“におい”の知覚強度の経時変化

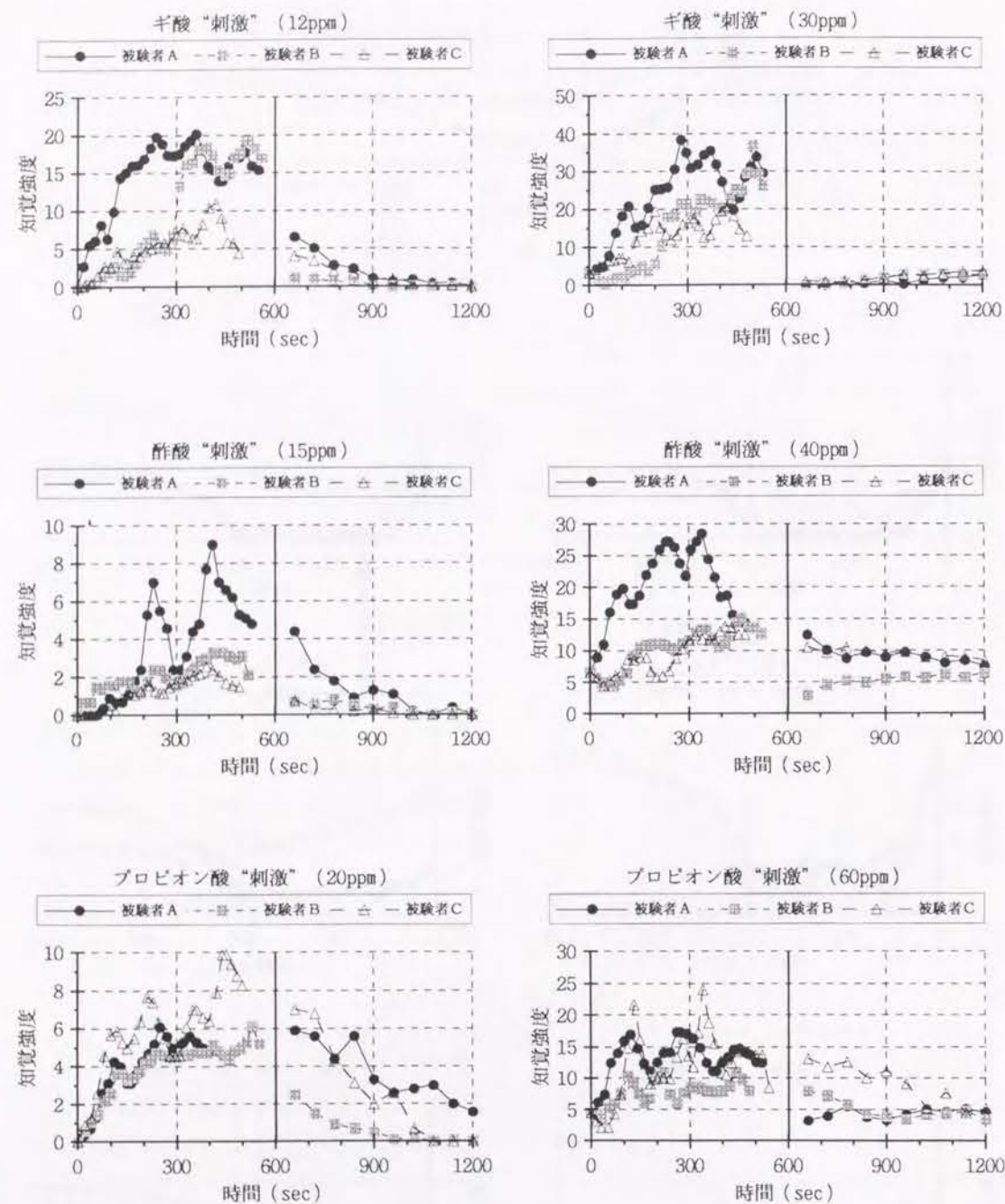


図 5-18 刺激性物質の連続的曝露による“刺激”
の知覚強度の経時変化 (その 1)

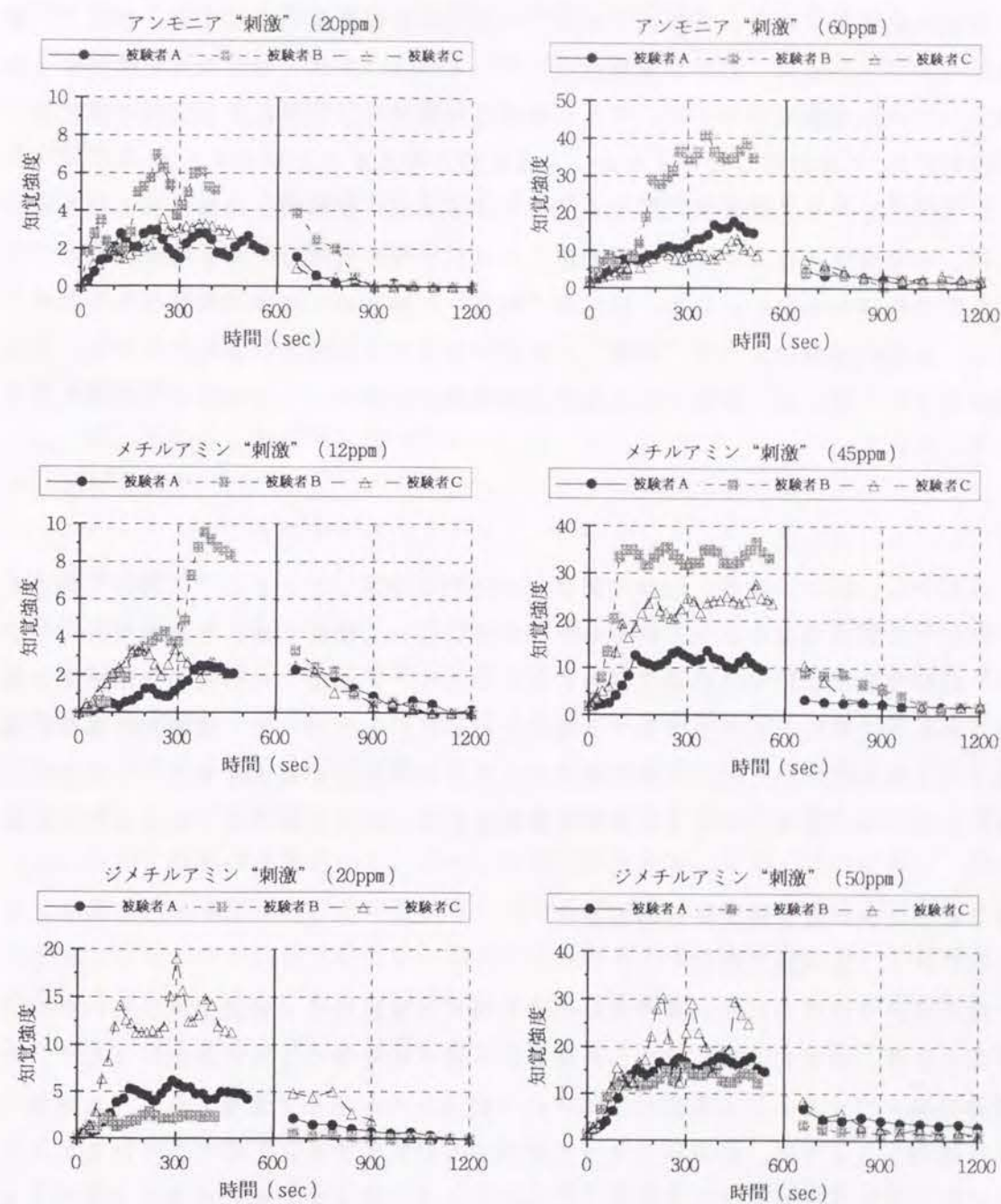


図 5-18 (その 2)

を感じないレベル（低濃度レベル）であってもやがて“刺激”の感覚が発現することは、外部からの有毒・有害物質を検知する²⁹⁾という三叉神経の役割の一側面が現れたものと考えられる。また、“刺激”の知覚強度が単調に増加することなく、あるレベルでとどまり、しかも変動を示しているのは、有毒・有害物質を検知する側面としての知覚強度の増大と、それに対する粘液の分泌、鼻孔の開放性の調節などの反射行動⁸⁾が拮抗していることによるものと考えられることができる。

以上のことから、事業場内部などで発生する臭気に定常的に曝露されている場合には、知覚強度が増大するという刺激性の感覚特性を考慮した労働環境の保全が行われなければならない。また、臭気が“刺激”を感じない程度の濃度レベルであっても、連続的曝露によって“刺激”の感覚が発現する可能性があることから、臭気の評価を行う際には、刺激性臭気物質の感覚的応答特性に十分留意する必要があると考えられる。

5-6-5 まとめ

本節では、におい物質と刺激性物質を連続的に曝露したときの“におい”および“刺激”の知覚強度を測定し、その時間特性について検討した。その結果、“におい”の知覚強度は時間の経過とともに低下したが、“刺激”の知覚強度は時間の経過とともに上昇し、しかも変動する傾向を示した。したがって、連続的に臭気に曝露される環境においては、時間の経過とともに知覚強度が増大するという刺激性の感覚特性に十分留意したうえで臭気の評価を行う必要のあることが明らかになった。

第7節 おおい質と順応特性の関連性

5-7-1 本実験の概要

様々な臭気物質のにおい質や物理化学的特性と順応特性の相互関係について検討することは、感覚的応答に対応した臭気の評価手法を確立するためだけでなく、嗅感覚の基本的メカニズムを解明するという観点からも極めて重要であり、本章第3節で説明したように、従来から多くの研究が行われてきた。しかし、それらの大部分は特定の物質を対象として検討したものであり、種々のにおい質をもつ物質を用いた系統的研究はほとんど行われていない。そこで本節では、様々なにおい質を有する物質を連続的に曝露したときの知覚強度の変化を測定し、物質による順応特性の違いについて検討した。

5-7-2 実験方法

1) 対象物質

5-5-2の1)と同様に、 C_3H_7 の飽和炭化水素鎖を含む物質を中心に、異な

る官能基をもつ6物質を用いた。すなわち、アルコール類として1-ブタノール、アルデヒド類としてn-ブチルアルデヒド、脂肪酸類としてn-酪酸、ケトン類として2-ペンタノン、エステル類としてn-酪酸エチルおよび酢酸n-ブチルを用いた。

2) 試験室

5-4-2の2)と同様であった。

3) 被験者

5-4-2の3)と同様の条件を満たし、嗅力に異常の認められない男子大学生4名(22~27歳)を用いた。

4) 感覚尺度構成

5-5-2の4)と同様であった。

5) 実験装置

5-5-2の5)と同様であった。

6) 試料の呈示

5-5-2の6)と同様であった。

7) 実験手順

本実験では、各物質について“におい”の知覚強度を測定した。実験者は、5-6-2の7)と同様の手順で被験者に呼吸させ、呼吸の安定したところで試料ガスを装置から連続的に呈示し、1分または2分ごとに10分間にわたって知覚強度をマグニチュード推定法によって回答させた。また、10分経過後には試料ガスの呈示を直ちに停止して無臭空気の呈示に変え、以後10分間にわたって1分あるいは2分ごとに一時的に試料ガスを呈示し、同様に知覚強度を回答させた。このように、順応とその後の回復過程における知覚強度の測定を10分間ずつ行い、合計20分間で1回の測定とした。さらに測定終了後、測定中の嗅感覚の変化の様子について被験者に報告を求めた。ここで、知覚強度の回答と記録の手順は、5-6-2の7)と同様であった。以上の各操作を各物質ともに各人2回ずつ行った。

5-7-3 実験結果および考察

5-5-3と同様の手順によってデータの平均化を行い、知覚強度の経時変化を求めたものが図5-19である。ここで、600秒(10分)までは臭気物質の連続的曝露であり、その後1200秒(20分)までの10分間は回復の過程を表している。これらの知覚強度の変化の傾向をみると、順応過程においては時間の経過とともに指数関数的に減少し、4~8分で順応が完了した後、一定値のまま推移するが、低濃度レベルにおいては知覚強度が0となる物質もあり、従来の研究^{84) 90) 129)}と同様の傾向を示した。

次に、各物質の特性を比較するために、Ekmanら⁸⁴⁾やBerglund¹²⁹⁾によって提案

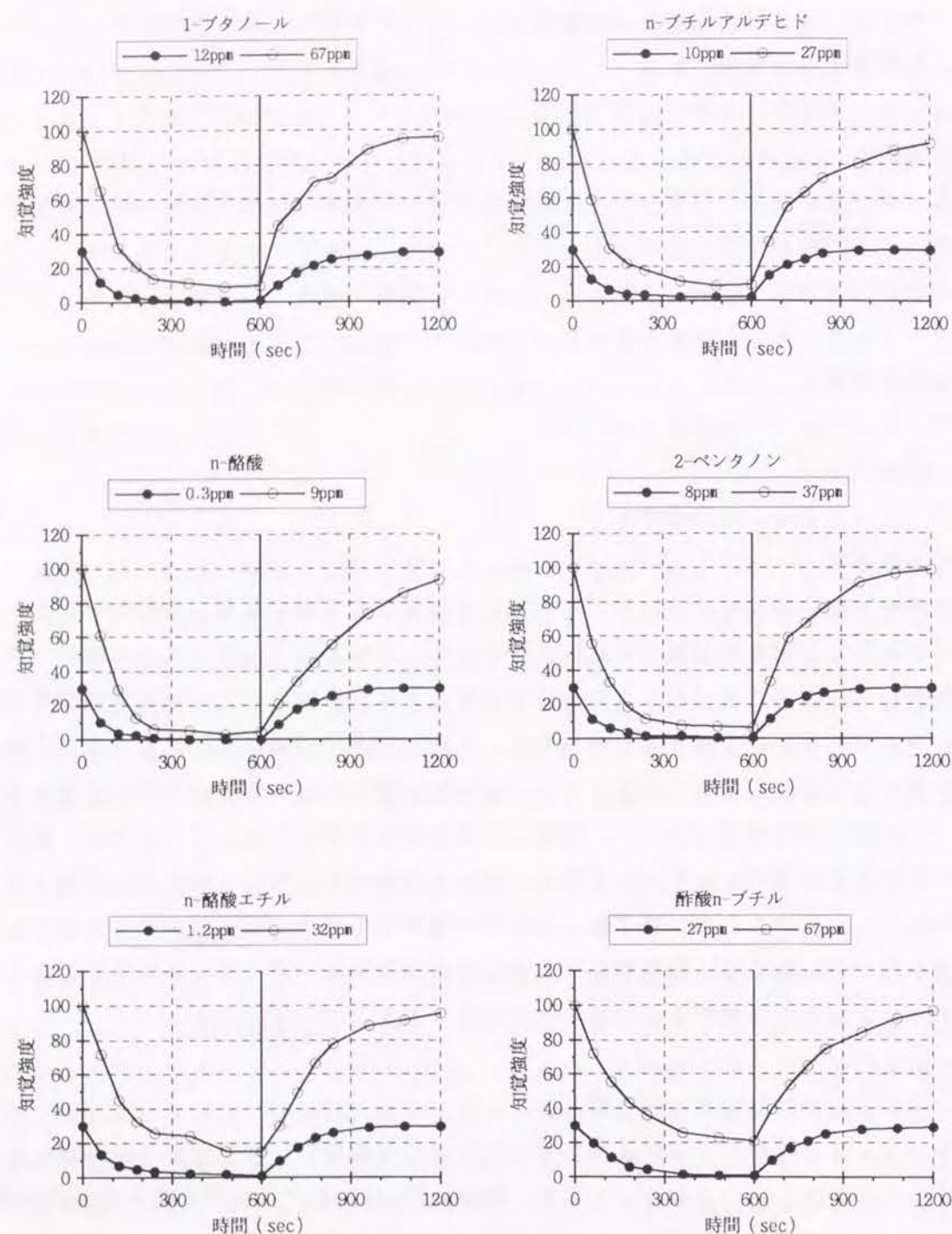


図5-19 臭気物質の連続的曝露による知覚強度の経時変化

された知覚強度の経時変化を表す経験式

〈順応過程〉

$$I = a + b / c^t \quad (5-1)$$

〈回復過程〉

$$I = a - b / c^{(t-10)} \quad (5-2)$$

I : 知覚強度

a, b, c : 定数 ($c > 1$)

t : 時間 (min)

に実験結果を回帰させた。ここで、順応過程を表す(5-1)式の a 、 $a+b$ および c は、それぞれ順応完了後の定常的な知覚強度(図5-19の順応過程における漸近線)、 $t=0$ における知覚強度、および知覚強度の減衰する速さを表しており、回復過程を表す(5-2)式の a 、 $a-b$ および c は、それぞれ完全に回復した後の知覚強度(図5-19の回復過程における漸近線)、 $t=10$ における知覚強度、および知覚強度の回復する速さを表している。各物質の順応過程における回帰結果を表5-8に、回復過程における回帰結果を表5-9に示すが、各物質ともに回帰式は極めて適合性が高く、相関係数はすべて0.99以上であった。

図5-19および表5-8、表5-9をみると、本実験において検討した6物質について、次のような特徴が認められる。まず、濃度による違いについてみると、高濃度の方が低濃度よりも順応完了後の知覚強度が大きく、順応過程における知覚強度の減少および回復過程における知覚強度の増加が緩やかである。また、順応過程の方が回復過程よりも知覚強度の変化が速やかである。本実験で用いた6物質すべてについてこのような特性がみられたことから、順応現象を把握するための手がかりとして、これらは重要な因子であると考えられる。におい質による違いについてみると、n-酪酸では他の物質と比較して順応が速やかに生じ、順応完了後の定常的な知覚強度が低い傾向を示した。n-酪酸は指定悪臭物質の一つであり、「汗くさいにおい」と形容される不快なにおいで、閾値も非常に低い($0.00019\text{ppm}^{1.41}$)が、人体に由来する汗のにおいであるために知覚強度が速やかに減少したとも考えられる。また、エステル類であるn-酪酸エチルおよび酢酸n-ブチルは、順応過程における知覚強度の減衰の速さが相対的に遅く、また回復も遅いという傾向がみられ、特に酢酸n-ブチルにおいて顕著であった。これらエステル類は果実臭を呈し、香料などに用いられることも多いが、目、喉、皮膚などを刺激し、麻酔および頭痛等の中毒症状を生ずるにおいであることがこのような特性に関係していると考えられる。

表5-8 順応過程における回帰結果

物質名	低 濃 度		高 濃 度	
	回帰式 ($I=a+b/c^2$)		回帰式 ($I=a+b/c^2$)	
	I:知覚強度 t:時間(min)	a + b	I:知覚強度 t:時間(min)	a + b
1-ブタノール	$I = 0.978 + 29.0/2.68^2$	30.0	$I = 7.68 + 94.5/1.85^2$	102
n-ブチルアルデヒド	$I = 2.53 + 27.5/2.66^2$	30.0	$I = 9.30 + 91.3/1.93^2$	101
n-酪酸	$I = 0.363 + 29.5/2.94^2$	29.9	$I = 1.88 + 100/1.88^2$	102
2-ペンタノン	$I = 1.32 + 28.5/2.59^2$	29.8	$I = 6.00 + 94.3/1.91^2$	100
n-酪酸エチル	$I = 2.17 + 27.8/2.32^2$	30.0	$I = 15.0 + 86.3/1.64^2$	101
酢酸n-ブチル	$I = 0.478 + 30.0/1.65^2$	30.5	$I = 19.6 + 80.0/1.50^2$	99.6

表5-9 回復過程における回帰結果

物質名	低 濃 度		高 濃 度	
	回帰式 ($I=a-b/c^{(1-1.0)}$)		回帰式 ($I=a-b/c^{(1-1.0)}$)	
	I:知覚強度 t:時間(min)	a - b	I:知覚強度 t:時間(min)	a - b
1-ブタノール	$I = 30.0 - 29.0/1.49^{(1-1.0)}$	1.0	$I = 97.8 - 85.5/1.44^{(1-1.0)}$	12.3
n-ブチルアルデヒド	$I = 30.3 - 27.8/1.77^{(1-1.0)}$	2.5	$I = 92.8 - 82.5/1.43^{(1-1.0)}$	10.3
n-酪酸	$I = 31.3 - 31.8/1.50^{(1-1.0)}$	-0.5	$I = 122 - 117/1.15^{(1-1.0)}$	5
2-ペンタノン	$I = 30.1 - 29.8/1.72^{(1-1.0)}$	0.3	$I = 101 - 94.5/1.43^{(1-1.0)}$	6.5
n-酪酸エチル	$I = 30.8 - 30.0/1.53^{(1-1.0)}$	0.8	$I = 101 - 89.3/1.35^{(1-1.0)}$	11.7
酢酸n-ブチル	$I = 29.8 - 29.0/1.50^{(1-1.0)}$	0.8	$I = 125 - 81.5/1.29^{(1-1.0)}$	43.5

一方、1-ブタノール、n-ブチルアルデヒドおよび2-ペンタノンの3物質は、順応過程、回復過程ともにほぼ同様の変化を示した。

5-7-4 まとめ

本節では、様々なにおい質を有する物質を連続的に曝露したときの順応および回復過程における知覚強度の変化を測定し、回帰分析を行うことによって、その特性の把握を行った。その結果、濃度による違いについてみると、すべての物質について高濃度の方が低濃度よりも順応完了後の知覚強度が大きく、順応過程における知覚強度の減少および回復過程における知覚強度の増加が緩やかであった。また、順応過程の方が回復過程よりも知覚強度の変化が速やかであることが認められた。

方、におい質による違いについてみると、曝露開始時の知覚強度は同じであっても、汗臭を呈するn-酪酸では順応完了後の知覚強度が最も小さくなり、果実臭を呈するエステル類では順応過程における知覚強度の減衰の速さが相対的に遅く、また回復も遅いという傾向がみられた。このように、順応、回復が完了した後の定常的な知覚強度、および順応や回復の速さを検討することによって、順応現象の特性の把握が可能であることが明らかになった。

第8節 順応現象のモデル化に関する検討

5-8-1 従来の順応モデル式

順応現象をより客観的にとらえ、そこから一般的特性を見だし、臭気の評価に生かしていくためには、順応現象のモデル化について検討することが不可欠である。順応現象を単純なモデル式で表そうとする試みは古くから行われてきており、以下のように様々なモデルが提案されてきた。WoodrowとKarpman¹³⁰⁾は、順応が完了するまでの時間Tと刺激強度（におい物質の濃度）Cの間に、

$$T = K + k C \quad (5-3)$$

K, k: 定数

の関係を見いだしたが、これが成立するのは閾値近傍の比較的弱い刺激に対してだけであると述べている。これに対してStuiverは、

$$T = K \sqrt{C - 1} \quad (5-4)$$

の関係を提案した¹³¹⁾。

また、順応過程における知覚強度Iについては、Ekmanら⁸⁴⁾が指数関数的変化を示すことを指摘し、前出の(5-1)式が実験結果によく適合することを明らかにした。さらにBerglund¹²⁹⁾は、Ekmanらの提案から考察を進め、指数関数的変化が呼吸サイクルを考慮することによって説明できることを示しており、Overbosch¹³²⁾は、Stevensのベキ法則に時間因子を組み込んだモデルを提案している。

一方、大迫ら¹³³⁾は、精神物理学および生理学的知見に基づいて、嗅応答の大きさがにおい分子とレセプター分子の結合速度に比例するとの考えから、

$$\frac{dx}{dt} = k_1 C N \exp \{ - (k_1 C + k_{-1}) t \} \quad (5-5)$$

x: 嗅細胞脂質層内におい分子とレセプター分子の結合体濃度

N: レセプター分子の総数

k_1 : 結合速度定数

k_{-1} : 脱離速度定数

によって嗅応答の大きさの時間的推移をシミュレートした。またLi^{13,14)}は、高次の嗅覚中枢から嗅球の抑制性細胞へ送られる信号によって応答の調整が起こるとの考えから、解剖学的・生理学的順応モデルを提案している。

精神物理学的・物理化学的・生理学的見地から、このように様々なモデルが提案されているが、これらの知見を臭気の評価に適用するためには、種々のモデルの関連性について検討し、感覚的応答特性を物理化学的・生理学的側面から説明することが不可欠である。そこで本節では、種々の順応モデル式のうち、特に経験的モデル式である(5-1)式(以下、Ekmanの式とする)と、生理学的モデル式である(5-5)式(以下、大迫の式とする)に注目し、大迫の式の簡略化によって、経験式であるEkmanの式を理論的に説明することを試みた。

5-8-2 嗅覚機構に基づく順応モデル式の簡略化

Ekmanの式は、前節でも述べたように実験結果によく適合することが知られていたが、理論的説明はされておらず、臭気物質の物理化学的特性と関連のあるパラメータも存在しないために、順応現象の客観的把握のためのモデル式としては不十分である。一方、大迫の式は、嗅細胞における臭気物質の受容過程に関する生理学的知見に基づいてモデル化を行い、さらに呼吸サイクルを考慮することによって知覚強度の変化を説明しているが、実験結果への適用やパラメータの解釈にはコンピュータを用いたシミュレーションが必要となるなど、モデル式の簡単な取り扱いが困難である。したがって、大迫の式を簡略化することによって、Ekmanの式で表される知覚強度の変化の経験的特性を生理学的・物理化学的パラメータと関連づける操作が必要になる。

大迫らは、モデル式を次のように誘導している。まず、順応現象においては、中枢神経系よりも嗅細胞におけるにおい分子の受容過程での順応が卓越すると仮定した。そして、嗅応答は嗅細胞脂質層内のレセプター分子とにおい分子の結合体が結合時に活性化され、電気的インパルスを発射することによって生じることから、嗅応答の大きさは嗅細胞から単位時間あたりに発射される電気的インパルス数、すなわち、におい分子とレセプター分子の結合速度に比例すると考え、(5-5)式を誘導した。さらに、高濃度臭気に対しては十分時間が経過した後も知覚強度がある一定レベルで推移することを勘案して、呼吸サイクルの影響を考慮し、実際の知覚強度の変化をシミュレートしている(詳細については章末付録-1参照)。このよ

うにして、大迫の式から嗅応答の大きさの経時変化を算出することができるが、付録-1中の付図-2で示したように、その変化は不連続であり、回帰分析などで実験結果と直接対応させることはできない。

そこで、この嗅応答の大きさの変化を連続的な曲線として表現できるように、大迫の式の簡略化を行った。すなわち、従来の大迫のモデルでは、各呼吸サイクルごとに断続的に嗅応答の大きさの変化を表す曲線を求めなければならなかったが、ここでは各呼吸サイクルの開始時における嗅応答の大きさに注目し、それらの点を各呼吸サイクルに要する時間ごとに順次結ぶことによって連続的な一つの曲線を考えた。このようにして大迫による順応モデル式を簡略化すると、知覚強度Iは、

$$I = \alpha r \frac{1-L}{1-KL} - r R_{th} + \alpha r \frac{L(1-K)}{1-KL} / \{ (KL)^{-1/(t_A+t_B)} \} \quad (5-6)$$

$$\alpha = k_1 C N$$

$$K = \exp \{ - (k_1 C + k_{-1}) t_A \} \quad (0 < K < 1)$$

$$L = \exp (-k_{-1} t_B) \quad (0 < L < 1)$$

r: 比例係数

R_{th} : 閾値に相当する嗅応答の大きさ

t_A : 吸入時間

t_B : 吐出時間

として表すことができる(詳細については章末付録-2参照)。ここで、嗅応答の大きさが閾値以下である場合はにおいは知覚されないの、閾値に相当する嗅応答の大きさを R_{th} とおき、それを差し引いた嗅応答の大きさに知覚強度が比例すると考え、比例係数rを乗じている。さらに、(5-6)式の第1項と第2項の、 $\alpha r (1-L)/(1-KL) - r R_{th}$ 、第3項の $\alpha r L(1-K)/(1-KL)$ および $(KL)^{-1/(t_A+t_B)}$ は、時間に依存しない定数であるので、それぞれa、b、cとおくと、

$$I = a + b/c \quad (5-7)$$

となり、Ekmanの式である(5-1)式と同じ形が誘導される。このように、大迫のモデル式を簡略化することによって、経験式であるEkmanの式を物理化学的・生理学的特性および呼吸サイクルの取り方によって説明することができた。

(5-1)式では、aが順応完了後の定常的な知覚強度、a+bがt=0におけ

る知覚強度、 c が順応による知覚強度の減衰の速さを表しているが、この点を考慮して、(5-6)式中の各パラメータの増減による a 、 $a+b$ 、 c の変化の傾向について考察した。まず、同じにおい分子において濃度 C が高くなった場合、 $a+b=r(\alpha-R_{in})$ であり、 α が大きくなることから、 $a+b$ は増加する。また、 c も濃度とともに増加することになるが、これは濃度が高くなると知覚強度の減衰が速くなるということを示しており、前節の回帰結果と合致しない。一方、異なるにおい分子を想定した場合、等濃度であっても各物質ごとに k_1 、 k_{-1} 、 N が異なるために、これらのパラメータによって a 、 $a+b$ 、 c の変化の傾向に違いがでてくる。また、呼吸サイクルを表す t_A および t_B についても同様に変化の傾向が異なることになる(詳細については章末付録-3参照)。

以上のように、大迫の式を簡略化することによって、順応現象における知覚強度の変化を表す経験式を理論的に説明することができた。しかし、同一物質で濃度が高くなった場合、(5-6)式では知覚強度の減衰が速くなるということになるが、前節の回帰結果では逆に遅くなっており、本節での説明と合致しない。この点については、大迫のモデルが嗅細胞におけるにおい分子の受容過程から導かれたものであり、様々な仮定を含め、嗅細胞よりも高次の中樞神経系における順応現象および脳における嗅応答処理に及ぼす心理的影響などを加味していないためであると考えられる。実際、嗅神経のレベルのみならず、嗅球以上の嗅覚中枢でも順応現象が生じることが指摘されており¹⁰²⁾、今後これらの問題点を踏まえ、真の順応機構に近づくモデルを提案することが必要であると考えられる。

5-8-3 まとめ

本節では、順応現象に関する様々なモデル式のうち、特に経験的モデル式であるEkmanの式と生理学的モデル式である大迫の式に注目し、大迫の式を簡略化することによって、感覚的応答特性を物理化学的・生理学的側面から説明することを試みた。その結果、大迫のモデル式の簡略化によって、経験式であるEkmanの式と同型の式が導かれ、Ekmanの式を物理化学的・生理学的特性および呼吸サイクルの取り方によって説明することができた。また、パラメータの増減による知覚強度の減衰の速さの変化の傾向について考察した結果、一部、実験結果と合致しない点も見いだされたが、これについては高次の中樞神経系や心理的影響などの関与が考えられた。

第9節 臭気の連続的曝露に対する快・不快度の変化

5-9-1 本実験の概要

人間の嗅覚におけるにおいの知覚は、強度、質および快・不快度という三要素で構成されているが、その中でも快・不快度というものは、脳において様々な情報

の修飾を経た、人間の知覚の総合的な判断の結果として現れる感情である。このような快・不快度に着目した研究は、大迫ら^{135) 136)}や斉藤¹³⁷⁾らによって若干行われてきているが、嗅覚における快・不快度の時間特性に関する検討はほとんど存在しない。特に悪臭公害においては、住民の感覚的不快性に基づいて苦情が発現することが大きな特徴となっており、快・不快度の時間特性を把握することは、悪臭の評価および規制を行ううえで不可欠である。そこで本節では、におい質および知覚強度と快・不快度の推移との関係を把握するために、臭気物質を連続的に曝露したときの快・不快度の変化について検討するとともに、その影響因子についても考察した。

5-9-2 実験方法

1) 対象物質

5-5-2の1)と同様に、 C_3H_7 の飽和炭化水素鎖を含む物質を中心に、異なる官能基をもつ6物質を用いた。すなわち、アルコール類として1-ブタノール、アルデヒド類としてn-ブチルアルデヒド、脂肪酸類としてn-酪酸、ケトン類として2-ペンタノン、エステル類としてn-酪酸エチルおよび酢酸n-ブチルを用いた。

2) 試験室

5-4-2の2)と同様であった。

3) 被験者

5-4-2の3)と同様の条件を満たし、嗅力に異常の認められない男子大学生4名(22~27歳)を用いた。

4) 感覚尺度構成

本実験では、表5-10に示す9段階快・不快度尺度によって、連続的に呈示される臭気の快・不快度を回答させた。

5) 実験装置

5-5-2の5)と同様であった。

6) 試料の呈示

5-5-2の6)と同様であった。

7) 実験手順

5-7-2の7)と同様の手順に従って、各物質の快・不快度を測定した。

5-9-3 実験結果および考察

図5-20には、各物質、各濃度段階についての快・不快度の平均値と標準偏差の推移を示すが、一般的に順応過程で快・不快度が ± 1 程度から0へと漸近していく場合において標準偏差が小さくなっており、特にn-酪酸、n-酪酸エチルおよび酢酸

表5-10 9段階快・不快度表示法

快・不快度	内 容
+4	極端に快
+3	非常に快
+2	快
+1	やや快
0	快でも不快でもない
-1	やや不快
-2	不快
-3	非常に不快
-4	極端に不快

n-ブチルの低濃度レベルにおいて顕著である。このような傾向に関しては、低濃度レベルであるために鼻・喉への刺激などの身体への影響による不快感があまり付加されず、におい質からのみ快・不快度が判断され、順応による知覚強度の減衰とともに快・不快度も変化することが大きく影響していると考えられる。一方、他の場合には比較的標準偏差が大きい、この原因としては、曝露初期の快・不快度が大きく、身体への影響やにおい質の好みが個人によって異なること、またエステル類については、快にも不快にも受けとられるにおいであることなどが挙げられる。このように、快・不快度はにおい物質の総合的判断の結果として得られる感情であるために、判断に対する影響因子が一つでも異なれば、如実に個人差として現れることになり、実際はかなり平均値と異なる結果も存在した。

しかし、快・不快度の経時変化の一般的傾向を物質間で比較するために、平均値の推移に注目すると、低濃度レベルでは曝露開始時における快・不快度は±1付近であるが、時間の経過とともに0に近づき、曝露の終了から数分内に最初の快・不快度に戻る傾向が認められる。また、高濃度レベルではにおい質によってかなり傾向が異なるが、これは、実験後、被験者によって得られた自由回答（表5-11）においても認められるように、快・不快度の判断がにおい質のみではなく、時間の経過とともに発現する鼻・喉への刺激など、様々な身体への影響に基づいているためであると考えられる。各物質の特性についてみると、低濃度レベルでは全体的にエステル類の2物質が快、他の4物質が不快と判断されており、変化の傾向としては、本章第7節で検討した知覚強度とほぼ同様の推移を示している。ただし、1-ブタノ

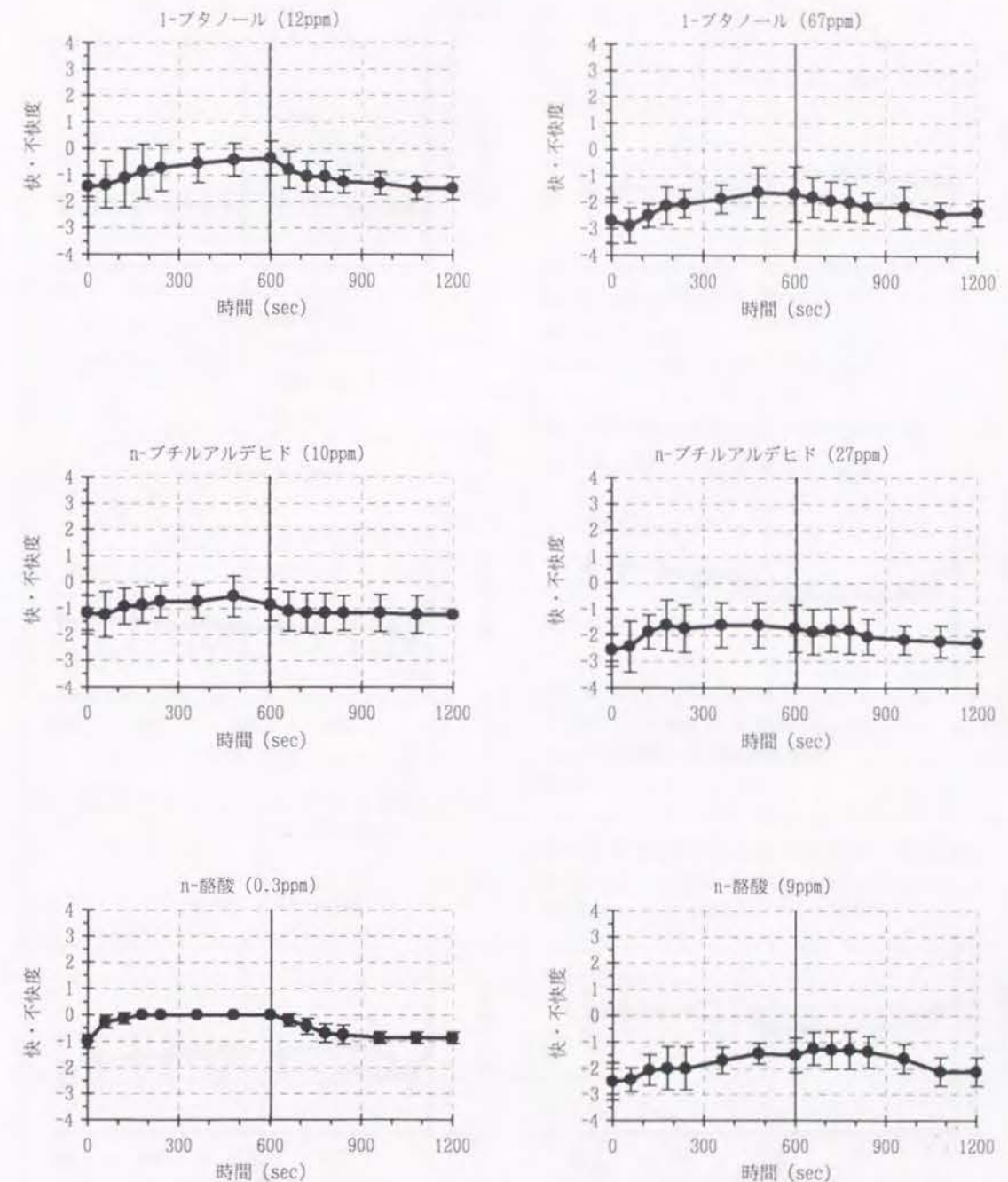


図5-20 臭気物質の連続的曝露による快・不快度の経時変化（その1）
平均値と標準偏差の推移を表す。

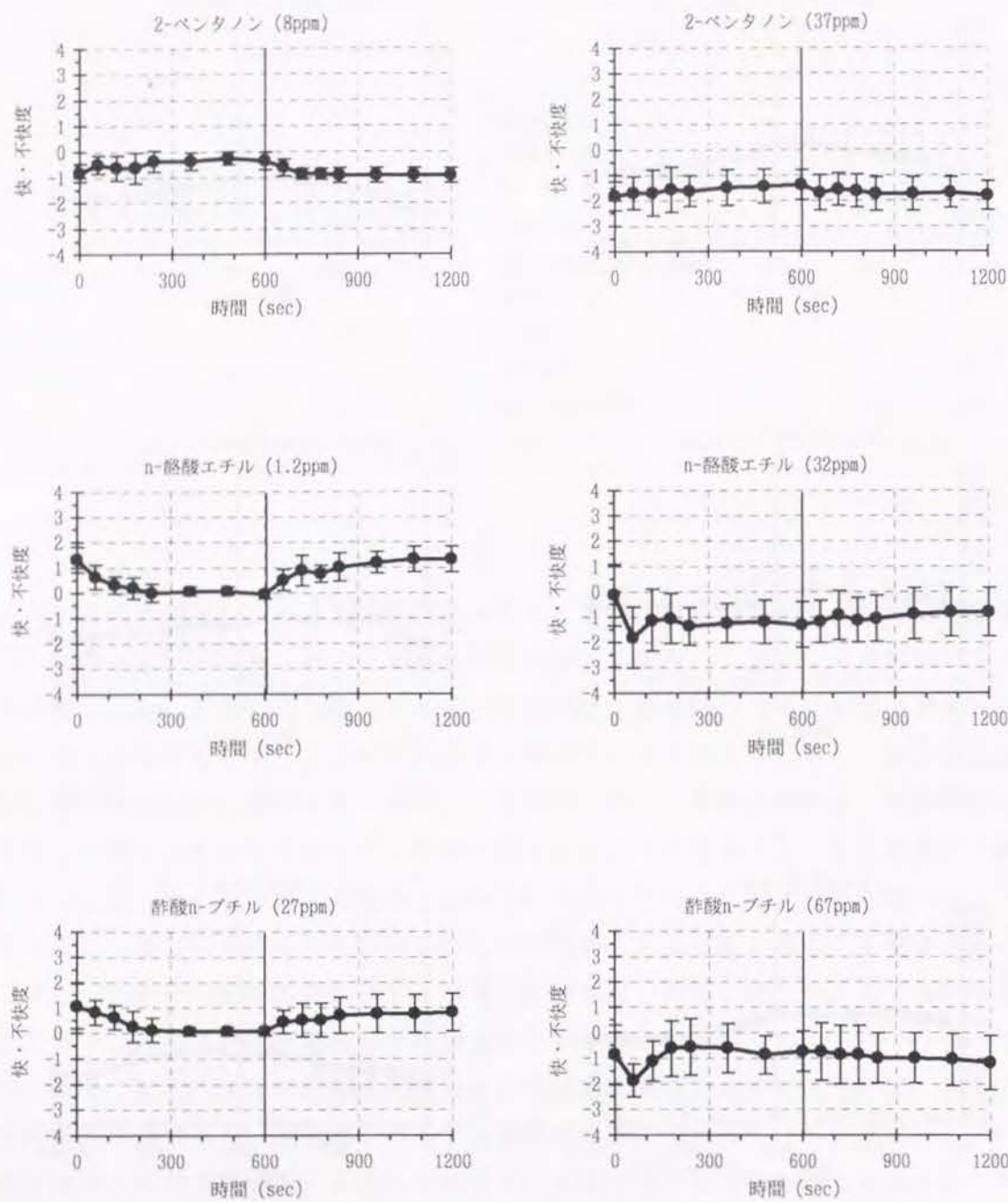


図5-20 (その2)

表5-11 快・不快性に関する自由回答 (抜粋)

物質名	におい質	濃度 (ppm)	自由回答
1-ブタノール	不快で甘いにおい	12	喉、胸にたまる。痛みを感じる。むせる。好きなにおいではない。
		67	三叉神経性の刺激が強い。むせる。喉、胸にたまる、痛みを感じる。
n-ブチルアルデヒド	刺激的な甘酸っぱい焦げたようなにおい	10	鼻に刺激がたまる。10分以降も続く。喉にいがいが感がある。嫌なにおい。梅みたくて嫌なにおいではない。
		27	鼻、喉、胸にたまる。10分以降も続く。むせる。特に1~2分後。
n-酪酸	汗くさい酸っぱいにおい	0.3	知覚強度が減少すると少し甘いにおい。
		9	むせそうになる。喉に痛みを感じる。鼻に刺激を感じ、痛くなる。
2-ペンタノン	少し甘いにおいのする溶剤系の刺激臭	8	鼻に刺激がたまる。セメダインのような清涼感。少し喉に痛みを感じる。頭がボーとする。
		37	鼻への刺激がかなり強く、においがあまりわからない。喉にいがいが感を感じる。頭がボーとする。
n-酪酸エチル	ハ°イナップル臭	1.2	甘いにおい。不快感はないが、10分間嗅ぎ続けたくはない。喉が少しいがいがする。
		32	喉と胸にかなりたまる。むせる。甘ったるいにおいで一嗅ぎするといいにおいだ、不快である。頭がボーとする。
酢酸n-ブチル	甘い果実臭	27	イチゴキャンディーのにおい。安っぽい甘い芳香剤みたいなにおい。10分以降もにおいが残る感じがする。少し鼻に刺すように感じる。
		67	鼻、喉が痛くなる。むせる。甘くていいにおいだ、甘すぎて鼻について不快。

ール、n-ブチルアルデヒドおよび2-ペンタノンについては、本章第7節の図5-19では低濃度レベルでの知覚強度がほぼ0となっているにもかかわらず、図5-20では快・不快度は0とはなっていない。これは、表5-11からうかがわれるように、様々な身体への影響が発現したためであると考えられる。一方、高濃度レベルではエステル類も不快と判断され、特に1分後に不快度が大きくなる傾向が認められるが、これは曝露初期の快・不快度が被験者によって快と不快に判断が分かれ、平均値としての不快度が小さくなり、その後、身体への影響が急激に現れたためであると考えられる。他の物質については、連続的曝露によって徐々に不快度が減少し、回復過程でまた徐々に増加するという傾向がみられる。ただし、2-ペンタノンではほぼ一定のまま推移しているが、これは刺激性が発現し、測定期間全体にわたって刺激感が鼻に残ったためであると考えられる。

以上のことから、臭気の連続的曝露においては、低濃度レベルでは物質固有のにおい質が大きく影響し、知覚強度が減少するとともに快・不快度も0に近づくが、高濃度レベルではにおい質のみならず、鼻・喉への刺激など身体各部位への影響が快・不快度の判断を左右することが明らかになった。したがって、連続的に臭気に曝露される状況においては、物質固有のにおい質にかかわらず、身体への影響を重要な因子として考慮し、臭気の評価を行う必要があると考えられる。

5-9-4 まとめ

本節では、におい質および知覚強度と快・不快度の推移との関係を把握するために、臭気物質を連続的に曝露したときの快・不快度の変化について検討するとともに、その影響因子についても考察した。その結果、臭気の連続的曝露においては、低濃度レベルでは物質固有のにおい質に対する判断が大きく影響し、知覚強度の変化に伴って快・不快度も推移するが、高濃度レベルではにおい質のみならず、鼻・喉への刺激など身体各部位への影響が快・不快度の判断を左右することが明らかになった。したがって、連続的に臭気に曝露される状況においては、物質固有のにおい質にかかわらず、身体への影響を重要な因子として考慮し、臭気の評価を行う必要があると考えられた。

第10節 結語

人間の感覚としての不快性に起因する悪臭事象を適切に評価するためには、嗅覚の根本的メカニズムを解明するとともに、それに基づいた人間の感覚的応答特性について検討することが不可欠であり、その中でも特に基本的かつ重要なものとして嗅覚の時間特性が挙げられる。しかし、悪臭公害の発現において、臭気の頻度や継続時間などの時間的因子の重要性が指摘されながらも、それらに関する詳細な検

討はほとんど行われてこなかった。また、現在の三点比較式臭袋法では、嗅覚の時間特性に基づいた測定手法上の留意点はほとんど考慮されておらず、感覚的応答に即した臭気の測定を行うという観点からも、嗅覚の様々な時間特性に関する検討が必要である。そこで本章では、悪臭の感覚的評価・規制における重要因子の一つである嗅覚の時間特性について種々の検討を行い、以下の知見を得た。

第4節では、嗅覚の時間特性の基本的要素の一つである臭気の吸入時間に注目し、吸入時間を変化させたときにおける物質と刺激性物質の“におい”および“刺激”の感覚の知覚強度を臭袋を用いて測定し、各物質の知覚特性と、三点比較式臭袋法をはじめ、臭袋を用いて官能試験を行う際の留意点について考察した。得られた知見は、以下の通りである。

- 1) “におい”の知覚強度は、低濃度では吸入時間とともに増大し、高濃度では逆に減少する傾向を示したが、“刺激”の知覚強度は吸入時間とともに増大したことから、嗅覚性の“におい”と非嗅覚性の“刺激”の間には特性の違いが存在する。
- 2) “刺激”の感覚の発現においては、吸入時間と物質濃度の積としての全体の物質質量が重要な因子となっている。
- 3) 吸入時間の違いによって臭気の質や知覚強度が変化する可能性があることから、三点比較式臭袋法をはじめ、臭袋を用いた官能試験を行う際には、できるだけ各被験者の吸入時間を一定にする必要がある。

第5節では、臭気の曝露初期における知覚特性を把握するために、4秒サイクルで呼吸を行わせたときの初期30秒間での知覚強度の変化を測定し、その特性について検討するとともに、官能試験における被験者の判定に及ぼす呼吸回数の影響についても考察した。得られた知見は、以下の通りである。

- 1) 知覚強度の経時変化の傾向には、①減衰し続けるもの、②ほぼ等強度を保った後に減衰し続けるもの、③一旦強度が増加した後に減衰し続けるもの、の3種類がある。
- 2) 1呼吸目に対して2呼吸目の知覚強度が増大する場合と減少する場合があることから、官能試験において知覚強度や閾値などを測定する場合には、最初の呼吸時に判断することが必要である。

第6節では、におい物質と刺激性物質を連続的に曝露したときの“におい”および“刺激”の知覚強度を測定し、その時間特性について検討した。得られた知見は、以下の通りである。

1) “におい”の知覚強度は時間の経過とともに低下したが、“刺激”の知覚強度は、時間の経過とともに上昇し、しかも変動する傾向を示したことから、“におい”と“刺激”の知覚特性に違いが存在する。

2) 連続的に臭気に曝露される環境においては、時間の経過とともに知覚強度が増大するという刺激性の感覚特性に十分留意したうえで臭気の評価を行う必要がある。

第7節では、順応現象における種々の物質の知覚特性を把握するために、様々なにおい質を有する物質を連続的に曝露したときの順応および回復過程における知覚強度の変化を測定し、物質による順応特性の違いについて考察した。得られた知見は、以下の通りである。

1) 高濃度の方が低濃度よりも順応完了後の定常的な知覚強度が大きく、順応過程における知覚強度の減少および回復過程における知覚強度の増加が緩やかである。

また、順応過程の方が回復過程よりも知覚強度の変化が速やかである。

2) におい質による違いについてみると、曝露開始時の知覚強度は同じであっても、汗臭を呈するn-酪酸では順応完了後の知覚強度が最も小さく、果実臭を呈するエステル類では、順応過程における知覚強度の減衰の速さが相対的に遅く、また回復も遅い。

第8節では、順応現象に関する様々なモデル式のうち、特に経験的モデル式であるEkmanの式と生理学的モデル式である大迫の式に注目し、大迫の式を簡略化することによって、感覚的応答特性を物理化学的・生理学的側面から説明することを試みた。得られた知見は、以下の通りである。

1) 大迫のモデル式を簡略化することによって、経験式であるEkmanの式と同型の式が導かれ、Ekmanの式を物理化学的・生理学的特性および呼吸サイクルの取り方によって説明することができた。

2) パラメータの増減による知覚強度の減衰の速さの変化の傾向について考察した結果、一部、実験結果と合致しない点も見いだされたが、これについては高次の中樞神経系や心理的影響などの関与が考えられる。

第9節では、におい質および知覚強度と快・不快度の推移との関係を把握するために、臭気物質を連続的に曝露したときの快・不快度の変化について検討するとともに、その影響因子についても考察した。得られた知見は、以下の通りである。

1) 低濃度レベルでは、物質固有のにおい質に対する判断が大きく影響し、知覚強度の変化に伴って快・不快度も推移するが、高濃度レベルでは、におい質のみな

らず、鼻・喉への刺激など身体各部位への影響が快・不快度の判断を左右する。

2) 連続的に臭気に曝露される状況においては、物質固有のにおい質にかかわらず、身体への影響を重要な因子として考慮し、臭気の評価を行う必要がある。

以上のように、嗅感覚の様々な時間特性に関する知見が得られたが、これらの成果を実際の悪臭事象に適用することによって、人間の感覚的応答特性に対応した悪臭の評価・測定方法を確立しなければならない。この点に関しては、さらに第6章で検討する。また本章では、嗅感覚の時間特性の中でも、比較的短時間の連続的曝露についての検討にとどまったため、今後は変動臭気に対する感覚的応答特性を把握することによって、一層被害状況と対応した悪臭の評価・規制が可能になるものと考えられる。

参考文献

- 1) 大迫政浩：嗅感覚のモデル化にもとづく環境臭気の評価に関する基礎的研究，京都大学学位論文（1991）
- 2) 悪臭防止技術マニュアル（総集編）編集委員会編：悪臭防止技術マニュアル（総集編），3-8，公害対策技術同友会，東京（1988）
- 3) 環境庁大気保全局特殊公害課監修，悪臭法令研究会編著：ハンドブック悪臭防止法，292-297，ぎょうせい，東京（1993）
- 4) 西田耕之助：悪臭，環境アセスメントハンドブック編集委員会編，環境アセスメントハンドブック上巻，499-537，環境技術研究協会，大阪（1987）
- 5) 増田淳二：臭いの拡散と環境アセスメント，環境技術，20，302-306（1991）
- 6) 西田耕之助：臭気事象の特性と生物法の将来，環境技術，21，489-493（1992）
- 7) 増田淳二，西田耕之助，大迫政浩，山川正信，喜多義邦：臭気強度を用いた悪臭の拡散予測に関する研究（第一報），臭気の研究，21，308-315（1990）
- 8) 増田淳二，西田耕之助，大迫政浩：臭気強度を用いた悪臭の拡散予測に関する研究（第二報），臭気の研究，21，351-357（1990）
- 9) Högström, U.: A method for predicting odor frequencies from a point source, Atmospheric Environment, 6, 103-121 (1972)
- 10) Beaman, A.L.: A novel approach to estimating the odour concentration distribution in the community, Atmospheric Environment, 22, 561-567 (1988)
- 11) 高原康光，早川友邦：間欠臭における悪臭評価（I），公害と対策，22，351-356（1986）

- 12) 高原康光, 西川治光, 森仁, 形見武男, 早川友邦: 間欠臭における悪臭評価 (II), 公害と対策, 23, 1161-1165 (1987)
- 13) 斉藤幸子, 飯尾心, 吉田倫幸, 佐渡山亜兵, 綾部早穂, 早野陽子: 変動臭気呈示装置による不快度計測—持続的呈示と断続的呈示の比較—, 第26回味と匂のシンポジウム論文集, 321-324 (1993)
- 14) 吉田倫幸, 斉藤幸子, 飯尾心, 佐渡山亜兵, 綾部早穂: 変動臭気に対する実時間不快度評価と心拍変動—臭気の持続呈示と断続呈示の比較—, 第26回味と匂のシンポジウム論文集, 357-360 (1993)
- 15) 樋口隆哉, 大迫政浩, 樋口能士, 西田耕之助: 嗅覚機構とにおいの評価, 第33回大気汚染学会講演要旨集, 183-184 (1992)
- 16) 樋口隆哉, 西田耕之助: 嗅感覚における三叉神経の役割とその受容機構, 臭気の研究, 25, 149-158 (1994)
- 17) 高木貞敬: 人間の嗅覚器官, 西田耕之助監修, 消・脱臭技術の進歩と実務, 17-23, 総合技術センター, 東京 (1991)
- 18) 高木貞敬: 嗅覚のしくみ, 日本化学会編, 化学総説No.14味とにおいの化学, 47-82, 学会出版センター, 東京 (1976)
- 19) 栗原堅三著: 味覚・嗅覚, 137-147, 化学同人, 京都 (1990)
- 20) 高木貞敬: 嗅覚神経機構, 佐藤昌康編, 味覚・嗅覚の科学, 119-139, 朝倉書店, 東京 (1972)
- 21) 山田常雄, 前川文夫, 江上不二夫, 八杉竜一, 小関治男, 古谷雅樹, 日高敏隆編: 岩波生物学辞典第3版, 岩波書店, 東京 (1983)
- 22) Kalat, J.W. 著, 中溝幸夫, 木藤恒夫訳者代表: バイオサイコロジー I, 101-151, サイエンス社, 東京 (1987)
- 23) 伊藤薫: 脳と神経の生物学, 167-180, 培風館, 東京 (1982)
- 24) 南山堂医学大辞典, 南山堂, 東京 (1964)
- 25) Beidler, L.M.: Comparison of gustatory receptors, olfactory receptors, and free nerve endings, Cold Spring Harbor Symposia on Quantitative Biology, 30, 191-200 (1965)
- 26) Cauna, N., Hinderer, K.H. & Wentges, R.T.: Sensory receptor organs of the human nasal respiratory mucosa, American Journal of Anatomy, 124, 187-210 (1969)
- 27) Allen, W.F.: Effect on respiration, blood pressure, and carotid pulse of various inhaled and insufflated vapors when stimulating one cranial nerve and various combinations of cranial nerves. I. Branches of the trigeminus affected by these stimulants, American Journal of Physiology,

- 87, 319-325 (1928)
- 28) Allen, W.F.: Effect on respiration, blood pressure, and carotid pulse of various inhaled and insufflated vapors when stimulating one cranial nerve and various combinations of cranial nerves. III. Olfactory and trigeminals stimulated, American Journal of Physiology, 88, 117-129 (1929)
- 29) Jones, M.H.: A study of the common chemical sense, American Journal of Psychology, 67, 696-699 (1954)
- 30) Keverne, E.B., Murphy, C.L., Silver, W.L., Wysocki, C.J. & Meredith, M.: Non-olfactory chemoreceptors of the nose: recent advances in understanding the vomeronasal and trigeminal systems, Chemical Senses, 11, 119-133 (1986)
- 31) 豊田文一, 北村武, 高木貞敬編: 嗅覚障害—その測定と治療—, 14-29, 医学書院, 東京 (1978)
- 32) Tucker, D.: Physical variables in the olfactory stimulation process, Journal of General Physiology, 46, 453-489 (1963)
- 33) Tucker, D.: Nonolfactory responses from the nasal cavity: Jacobson's organ and the trigeminal system, in Beidler, L.M. (Ed.), Handbook of Sensory Physiology (Vol. IV), Chemical Senses Part 1, Olfaction, 151-181, Springer-Verlag, Berlin (1971)
- 34) Beidler, L.M. & Tucker, D.: Olfactory and trigeminal nerve responses to odors, Federation Proceedings, 15, 14 (1956)
- 35) Silver, W.L. & Moulton, D.G.: Chemosensitivity of rat nasal trigeminal receptors, Physiology & Behavior, 28, 927-931 (1982)
- 36) Elsberg, C.A., Levy, I. & Brewer, E.D.: The sense of smell. IV. The trigeminal effects of odorous substances, Bulletin of the Neurological Institute of New York, 4, 270-285 (1935)
- 37) Tucker, D.: Olfactory, vomeronasal, and trigeminal receptor responses to odorants, in Zotterman, Y. (Ed.), Olfaction and Taste I, 45-69, Pergamon Press, New York (1963)
- 38) Cain, W.S.: Olfaction and the common chemical sense: Some psychophysical contrasts, Sensory Processes, 1, 57-67 (1976)
- 39) Silver, W.L., Manson, J.R., Adams, M.A. & Smeraski, C.A.: Nasal trigeminal chemoreception: Responses to n-aliphatic alcohols, Brain Research, 376, 221-229 (1986)

- 40) Smith, D.B., Allison, T., Goff, W.R. & Principato, J.J. : Human odorant evoked responses: Effects of trigeminal or olfactory deficit, *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 30, 313-317 (1971)
- 41) Kobal, G. & Hummel, C. : Cerebral chemosensory evoked potentials elicited by chemical stimulation of the human olfactory and respiratory nasal mucosa, *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 71, 241-250 (1988)
- 42) Engen, T. (Ed.) : *The Perception of Odors*, 149-152, Academic Press, New York (1982)
- 43) Cain, W.S. : Odor intensity: Differences in the exponent of the psychophysical function, *Perception & Psychophysics*, 6, 349-354 (1969)
- 44) Laing, D.G. & MacLeod, P. : Reaction time for the recognition of odor quality, *Chemical Senses*, 17, 337-346 (1992)
- 45) Cometto-Muñiz, J.E., Garcia-Medina, M.R. & Calviño, A.M. : Perception of pungent odorants alone and in binary mixtures, *Chemical Senses*, 14, 163-173 (1989)
- 46) Cain, W.S. & Drexler, M. : Scope and evaluation of odor counteraction and masking, *Annals of the New York Academy of Sciences*, 237, 427-439 (1974)
- 47) Cain, W.S. : Odor intensity: Mixture and masking, *Chemical Senses & Flavor*, 1, 339-352 (1975)
- 48) Doty, R.L., Brugger, W.E., Jurs, P.C., Orndorff, M.A., Snyder, P.J. & Lowey, L.D. : Intranasal trigeminal stimulation from odorous volatiles: Psychometric responses from anosmic and normal humans, *Physiology & Behavior*, 20, 175-185 (1978)
- 49) Cain, W.S. : Contribution of the trigeminal nerve to perceived odor magnitude, *Annals of the New York Academy of Sciences*, 237, 28-34 (1974)
- 50) Hyman, A.M. : Factors influencing the psychophysical function for odor intensity, *Sensory Processes*, 1, 273-291 (1977)
- 51) Cain, W.S. & Murphy, C.L. : Interaction between chemoreceptive modalities of odor and irritation, *Nature*, 284, 255-257 (1980)
- 52) Cain, W.S. : Bilateral interaction in olfaction, *Nature*, 268, 50-52 (1977)
- 53) Hughes, J.R. & Mazurowski, J.A. : Studies on the supracallosal mesial

- cortex of unanesthetized, conscious mammals. II. Monkey. C. Frequency analysis of responses from the olfactory bulb, *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 14, 646-653 (1962)
- 54) Sem-Jacobson, C.W., Peterson, M.C., Dodge, H.W., Jacks, Q.D. & Lazarte, J.A. : Electric activity of the olfactory bulb in man, *American Journal of the Medical Sciences*, 232, 243-251 (1956)
- 55) Walsh, R.R. : Single cell spike activity in the olfactory bulb, *American Journal of Physiology*, 186, 255-257 (1956)
- 56) Stone, H., Carregal, E.J.A. & Williams, B. : The olfactory-trigeminal response to odorants, *Life Sciences*, 5, 2195-2201 (1966)
- 57) Stone, H., Williams, B. & Carregal, E.J.A. : The role of the trigeminal nerve in olfaction, *Experimental Neurology*, 21, 11-19 (1968)
- 58) Stone, H. & Rebert, C.S. : Observations on trigeminal olfactory interactions, *Brain Research*, 21, 138-142 (1970)
- 59) Bouvet, J.F., Delaleu, J.C. & Holley, A. : Olfactory receptor cell function is affected by trigeminal nerve activity, *Neuroscience Letters*, 77, 181-186 (1987)
- 60) Silver, W.L., Mason, J.R., Marshall, D.A. & Mariniak, J.A. : Rat trigeminal, olfactory and taste responses after capsaicin desensitization, *Brain Research*, 333, 45-54 (1985)
- 61) Amoores, J.E. 著, 原俊昭 訳 : 匂い—その分子構造, 29-80, 恒星社厚生閣, 東京 (1972)
- 62) 穴田健一 : におい物質と分子構造の関連に関する基礎的研究, 京都大学修士論文 (1990)
- 63) 樋口隆哉, 大迫政浩, 西田耕之助, 樋口能士 : 刺激性臭気物質の等価刺激度濃度と解離定数の関係に関する検討, *臭気の研究*, 23, 134-140 (1992)
- 64) 西田耕之助, 大迫政浩, 樋口能士, 樋口隆哉 : 刺激性臭気物質の等価刺激度濃度の測定, *環境技術*, 21, 447-455 (1992)
- 65) Alarie, Y. : Sensory irritation of the upper airways by airborne chemicals, *Toxicology and Applied Pharmacology*, 24, 279-297 (1973)
- 66) Silver, W.L. & Maruniak, J.A. : Trigeminal chemoreception in the nasal and oral cavities, *Chemical Senses*, 6, 295-305 (1981)
- 67) Bouvet, J.F., Godinot, F., Croze, S. & Delaleu, J.C. : Trigeminal substance P-like immunoreactive fibres in the frog olfactory mucosa, *Chemical Senses*, 12, 499-505 (1987)

- 68) Beidler, L.M. & Tucker, D. : Response of nasal epithelium to odor stimulation, *Science*, 122, 76 (1955)
- 69) Walker, J.C., Tucker, D. & Smith, J.C. : Odor sensitivity mediated by the trigeminal nerve in the pigeon, *Chemical Senses & Flavour*, 4, 107-116 (1979)
- 70) Farley, L.G. & Silver, W.L. : Self- and cross-adaptation to chemical stimulation of the nasal trigeminal nerve in the rat, *Chemical Senses*, 17, 507-518 (1992)
- 71) Rehnberg, B.G., Hettinger, T.P. & Frank, M.E. : Asymmetrical neural cross-adaptation of hamster chorda tympani responses to sodium and chloride salts, *Chemical Senses*, 14, 663-672 (1989)
- 72) Kultz, D. (Chair) : Trigeminal chemoreception, *Annals of the New York Academy of Sciences*, 510, 127-129 (1988)
- 73) Doty, R.L. : Intranasal trigeminal detection of chemical vapors by humans, *Physiology & Behavior*, 14, 855-859 (1975)
- 74) Cometto-Muñiz, J.E. & Cain, W.S. : Temporal integration of pungency, *Chemical Senses*, 8, 315-327 (1984)
- 75) 大迫政浩, 西田耕之助 : 嗅感覚における非嗅覚性刺激 (三叉神経性刺激について), *臭気の研究*, 21, 274-281 (1990)
- 76) 樋口隆哉, 西田耕之助, 北川雅之 : 悪臭評価の観点からみた嗅感覚における順応現象, *臭気の研究*, 26, 97-104 (1995)
- 77) 大山正編 : 実験心理学, 22-41, 東京大学出版会, 東京 (1984)
- 78) 盛永四郎 : 知覚の特性と関係系, 和田陽平, 大山正, 今井省吾編, 感覚・知覚心理学ハンドブック, 74-80, 誠信書房, 東京 (1969)
- 79) 高木貞敬 : 嗅覚とは, 高木貞敬, 渋谷達明編, 匂いの科学, 3-9, 朝倉書店, 東京 (1989)
- 80) 42) の61-77
- 81) Engen, T. & Lipsitt, L.P. : Decrement and recovery of responses to olfactory stimuli in the human neonate, *Journal of Comparative & Physiological Psychology*, 2, 312-316 (1965)
- 82) 3) の36-65
- 83) Cheesman, G.H. & Townsend, M.J. : Further experiments on the olfactory thresholds of pure chemical substances, using the "Sniff-Bottle Method", *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 8, 8-14 (1956)
- 84) Ekman, G., Berglund, B., Berglund, U. & Lindvall, T. : Perceived intensity of odor as a function of time of adaptation, *Scandinavian Journal of Psychology*, 8, 177-186 (1967)
- 85) Cain, W.S. : Odor intensity after self-adaptation and cross-adaptation, *Perception & Psychophysics*, 7, 271-275 (1970)
- 86) Moncrieff, R.W. : Olfactory adaptation and odor intensity, *American Journal of Psychology*, 70, 1-20 (1957)
- 87) Engen, T. : Cross-adaptation to the aliphatic alcohols, *American Journal of Psychology*, 76, 96-102 (1963)
- 88) Steinmetz, G., Pryor, G.T. & Stone, H. : Olfactory adaptation and recovery in man as measured by two psychophysical techniques, *Perception & Psychophysics*, 8, 327-330 (1970)
- 89) Pryor, G.T., Steinmetz, G. & Stone, H. : Changes in absolute detection threshold and in subjective intensity of suprathreshold stimuli during olfactory adaptation and recovery, *Perception & Psychophysics*, 8, 331-335 (1970)
- 90) Cain, W.S. : Perception of odor intensity and the time-course of olfactory adaptation, *ASHRAE Transactions*, 80, 53-75 (1974)
- 91) Stone, H., Pryor, G.T. & Steinmetz, G. : A comparison of olfactory adaptation among seven odorants and their relationship with several physicochemical properties, *Perception & Psychophysics*, 12, 501-504 (1972)
- 92) Berglund, B. & Berglund, U. : The effect of adaptation on odor detection, *Perception & Psychophysics*, 9, 435-438 (1971)
- 93) Moncrieff, R.W. : Olfactory adaptation and odour likeness, *Journal of Physiology*, 133, 301-316 (1956)
- 94) 日科技連官能検査委員会編 : 官能検査ハンドブック, 59-218, 日科技連出版社, 東京 (1973)
- 95) Ohno, T., Yoshii, K. & Kurihara, K. : Quantitative analysis on discrimination of various odorants at receptor sites of the frog olfactory cell revealed by a cross adaptation method, *Comparative Biochemistry & Physiology*, 82A, 153-159 (1985)
- 96) Engen, T. & Bosack, T.N. : Facilitation in olfactory detection, *Journal of Comparative & Physiological Psychology*, 68, 320-326 (1969)
- 97) Corbit, T.E. & Engen, T. : Facilitation of olfactory detection, *Perception & Psychophysics*, 10, 433-436 (1971)

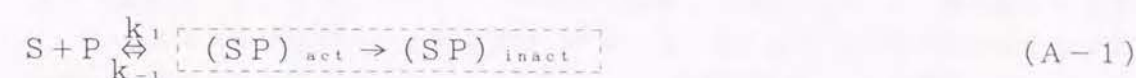
- 98) Berglund, B., Berglund, U. & Lindvall, T. : Olfactory self- and cross-adaptation: Effects of time of adaptation on perceived odor intensity, *Sensory Processes*, 2, 191-197 (1978)
- 99) Todrank, J., Wysocki, C.J. & Beauchamp, G.K. : The effects of adaptation on the perception of similar and dissimilar odors, *Chemical Senses*, 16, 467-482 (1991)
- 100) Cain, W.S. & Polak, E.H. : Olfactory adaptation as an aspect of odor similarity, *Chemical Senses*, 17, 481-491 (1992)
- 101) Pierce, Jr., J.D., Wysocki, C.J. & Arnov, E.V. : Mutual cross-adaptation of the volatile steroid androstenone and a non-steroid perceptual analog, *Chemical Senses*, 18, 245-256 (1993)
- 102) 伊藤勝浩 : 哺乳類の末梢嗅神経系の電気生理学的研究, *北関東医学*, 18, 405-417 (1968)
- 103) Getchell, T.V. & Shepherd, G.M. : Adaptive properties of olfactory receptors analysed with odour pulses of varying durations, *Journal of physiology*, 282, 541-560 (1978)
- 104) Kurahashi, T. & Shibuya, T. : Ca^{2+} -dependent adaptive properties in the solitary olfactory receptor cell of the newt, *Brain Research*, 515, 261-268 (1990)
- 105) 樋口隆哉, 西田耕之助, 樋口能士, 武内伸勝, 土橋隆二郎 : 悪臭の評価因子としての嗅感覚の時間特性に関する実験的検討, *大気汚染学会誌*, 29, 313-322 (1994)
- 106) DeVries, H. & Stuiver, M. : The absolute sensitivity of the human sense of smell, in Rosenblith, W.A. (Ed.), *Sensory Communication*, 159-168, The Massachusetts Institute of Technology Press, Cambridge (1961)
- 107) Schneider, R.A., Schmidt, C.E. & Costiloe, J.P. : Relation of odor flow rate and duration to stimulus intensity needed for perception, *Journal of Applied Physiology*, 21, 10-14 (1966)
- 108) Overbosch, P., De Wijk, R., De Jonge, T.J.R. & Köster, E.P. : Temporal integration and reaction times in human smell, *Physiology & Behavior*, 45, 615-626 (1989)
- 109) Osterhammel, P., Terkildsen, K. & Zilstorff, K. : Electro-olfactograms in man, *Journal of Laryngology*, 83, 731-733 (1969)
- 110) Rehen, T. : Perceived odor intensity as a function of air flow through the nose, *Sensory Processes*, 2, 198-205 (1978)
- 111) 環境庁大気保全局特殊公害課監修 : においの用語と解説, 臭気対策研究協会, 東京 (1990)
- 112) Nishida, K., Yanagibashi, Y. & Osako, M. : The flow rate of test odor spouting into the mask in the dynamic odor test, *International Journal of Environmental Studies*, 34, 237-249 (1989)
- 113) 大迫政浩, 西田耕之助, 松井三郎 : 臭気物質の物理化学的特性に基づく嗅覚閾値の推定方法の検討 (第1報) - 脂質親和性との関連性 -, *大気汚染学会誌*, 25, 405-414 (1990)
- 114) 永田好男, 竹内教文 : 三点比較式臭袋法による臭気物質の閾値測定結果, *日本環境衛生センター所報*, 17, 77-89 (1990)
- 115) 岩崎好陽, 中浦久雄, 谷川昇, 石黒辰吉 : 悪臭官能試験に及ぼすパネルの影響, *大気汚染学会誌*, 18, 156-163 (1983)
- 116) 31) の1-14
- 117) Stevens, S.S. : The direct estimation of sensory magnitudes--loudness, *American Journal of Psychology*, 69, 1-25 (1956)
- 118) Stevens, S.S. : On the psychophysical law, *Psychophysical Review*, 64, 153-181 (1957)
- 119) Stevens, S.S. : Problems and methods of psychophysics, *Psychological Bulletin*, 55, 177-196 (1958)
- 120) 柿崎祐一著 : 知覚判断, 73-100, 培風館, 東京 (1974)
- 121) 大山正 : 精神物理学的測定法, 和田陽平, 大山正, 今井省吾編, *感覚・知覚 心理学ハンドブック*, 32-55, 誠信書房, 東京 (1969)
- 122) 大迫政浩, 西田耕之助 : 臭気感覚の評価における留意点, *空気調和・衛生工学*, 66, 7-13 (1992)
- 123) Cain, W.S. & Moskowitz, H.R. : Psychophysical scaling of odor, in Turk, A., Johnston, Jr., J.W. & Moulton, D.G. (Eds.), *Human Responses to Environmental Odors*, 1-32, Academic Press, New York (1974)
- 124) Lane, H.L., Catania, A.C. & Stevens, S.S. : Voice level: Autophone scale, perceived loudness, and effects of sidetone, *The Journal of the Acoustical Society of America*, 33, 160-167 (1961)
- 125) Kerka, W.F. & Kaiser, E.R. : An evaluation of environmental odors, *Journal of Air Pollution Control Association*, 7, 297-301 (1957)
- 126) Overbosch, P., van den Enden, J.C. & Keur, B.M. : An improved method for measuring perceived intensity/time relationships in human taste and smell, *Chemical Senses*, 11, 331-338 (1986)

- 127) Liu, Y.H. & MacFie, H.J.H. : Methods for averaging time-intensity curves, Chemical Senses, 15, 471-484 (1990)
- 128) Yoshida, M. : A microcomputer (PC 9801/MS mouse) system to record and analyze time intensity curves of sweetness, Chemical Senses, 11, 105-118 (1986)
- 129) Berglund, U. : Dynamic properties of the olfactory system, Annals of the New York Academy of Sciences, 237, 17-27 (1974)
- 130) Woodrow, H. & Karpman, B. : A new olfactometric technique and some results, Journal of Experimental Psychology, 2, 431-447 (1917)
- 131) 吉田正昭 : 嗅覚, 和田陽平, 大山正, 今井省吾編, 感覚・知覚 心理学ハンドブック, 856-887, 誠信書房, 東京 (1969)
- 132) Overbosch, P. : A theoretical model for perceived intensity in human taste and smell as a function of time, Chemical Senses, 11, 315-329 (1986)
- 133) 大迫政浩, 西田耕之助, 松井三郎 : 嗅覚順応モデルの提案と香り空間設計への適用方法に関する一考察, 空気調和・衛生工学会論文集, 46, 11-19 (1991)
- 134) Li, Z. : A model of olfactory adaptation and sensitivity enhancement in the olfactory bulb, Biological Cybernetics, 62, 349-361 (1990)
- 135) 大迫政浩, 西田耕之助, 穴田健一 : 臭気の感覚的強度に対する不快性の影響 - 生理的強度と感覚的強度 -, 日本衛生学雑誌, 44, 1002-1008 (1989)
- 136) 大迫政浩, 樋口隆哉, 西田耕之助 : 知覚強度に対する快・不快度の変動特性, 臭気の研究, 22, 1-7 (1991)
- 137) 齊藤幸子 : 嗅覚の官能評価に関する実験的研究, 筑波大学学位論文 (1990)

付録-1 大迫による順応モデルの誘導^{1,3)}

ある一定の濃度をもつ臭気に定常的に曝露されているときの知覚強度の時間的推移について考える。まず、順応が嗅覚システムのどの段階で生起しているのかを考えなければならないが、おそらくどの段階が順応に大きく寄与しているのかという寄与の程度の問題に帰するものと考えられることから、ここでは嗅細胞におけるにおい分子の受容過程での順応が卓越すると仮定し、以下の議論を進める。

今、呼吸によって鼻孔内におい分子Sが吸入され、嗅細胞膜を覆う嗅粘液層あるいは嗅細胞膜脂質層との間に直ちに吸着・溶解平衡が成立したとする。また、そのときの嗅粘液層あるいは嗅細胞膜脂質層内におい分子Sの濃度をCとおく。ここで、におい分子Sと脂質層内のレセプター分子P（嗅粘液層とも接触していると考え）との間に次式の結合平衡関係が成立しているとする。



k_1 : 結合速度定数

k_{-1} : 脱離速度定数 ($k_1 > k_{-1}$)

(A-1)式における右辺の点線枠は、活性をもつ結合体 $(SP)_{act}$ が受容器電位の発生に直ちに使われて、不活性な結合体 $(SP)_{inact}$ に変化することを示す。

そこで、(A-1)式の関係が成り立つとき、Pに比べてSの濃度が十分に高く、結合によるSの濃度Cの減少は無視できると仮定すると、脂質層単位量あたりのレセプター分子の数をN（原文ではレセプター分子の総数となっている）、結合体SPの濃度をxとして、 $[S] = C$ 、 $[P] = N - x$ 、 $[SP] = x$ と表される。ここで、(A-1)式の平衡関係に至るまでのxの時間的経過は次のように表される。

$$\begin{aligned} \frac{d[SP]}{dt} &= \frac{dx}{dt} = k_1[S] \cdot [P] - k_{-1}[SP] \\ &= -(k_1C + k_{-1})x + k_1CN \end{aligned} \quad (A-2)$$

(A-2)式を、 $t = 0$ のとき $x = 0$ の条件で解くと次式が得られる。

$$x = \frac{k_1CN}{k_1C + k_{-1}} [1 - \exp\{-(k_1C + k_{-1})t\}] \quad (A-3)$$

ここで、嗅応答の大きさは、におい分子Sとレセプター分子Pの結合速度（結合体SPの生成速度）に比例すると考える。すなわち、一般に嗅応答の大きさは、嗅細胞から発射される電氣的インパルスの頻度（単位時間内に発射されるインパルス数）に対応することから、嗅応答の大きさが単位時間内の結合量としての結合速度に比例すると仮定した。そこで、結合速度（SPの生成速度 dx/dt ）は、(A-3)式を微分して次式で表される。

$$\frac{dx}{dt} = k_1 C N \exp \{ - (k_1 C + k_{-1}) t \} \quad (A-4)$$

(A-4) 式より、嗅応答の大きさが dx/dt に比例すると考えると、時間経過に対して嗅応答の大きさは指数関数的に減少することになり、順応現象の時間的推移と合致する。しかし、高濃度臭気に対する知覚強度は、十分時間が経過した後も消失せずにある一定の値を保持し続ける場合があるのに対して、(A-4) 式においては、 t が十分大きくなると dx/dt は 0 に漸近してしまい、実際の順応現象を説明できない。この場合、人間が実際に行う呼吸サイクルを考慮することによって、上記の矛盾は合理的に説明される。すなわち、吸入時には多くのにおい分子を含む空気が嗅上皮の嗅細胞と接触するが、吐出時にはにおい分子 S の濃度 C が極めて低くなり、(A-1) 式において左向き速度（脱離速度）が卓越する。ここで、結合速度は t が大きくなると減少し、逆に脱離速度は結合体 SP の濃度 x が高くなると増大することから、十分な時間の経過後には、吸入時に増加する SP の結合量と吐出時の脱離による減少量が等しくなる。したがって、結合速度 dx/dt は十分時間が経過した後は一定となり、知覚強度も一定値に保持される。

ここで、吸入時間を t_A 、吐出時間を t_B とし、 $(t_A + t_B)$ を 1 サイクルの呼吸に要する時間とすると、においに曝露され始めてから 1 サイクル目の吸入時および吐出時の x および dx/dt の時間的変化は次式で与えられる。

〈吸入時〉

$$x = \frac{k_1 C N}{k_1 C + k_{-1}} [1 - \exp \{ - (k_1 C + k_{-1}) t \}] \quad (A-5)$$

$$\frac{dx}{dt} = k_1 C N \exp \{ - (k_1 C + k_{-1}) t \} \quad (A-6)$$

〈吐出時〉

$$x = \frac{k_1 C N}{k_1 C + k_{-1}} [1 - \exp \{ - (k_1 C + k_{-1}) t_A \}] \exp \{ - k_{-1} (t - t_A) \} \quad (A-7)$$

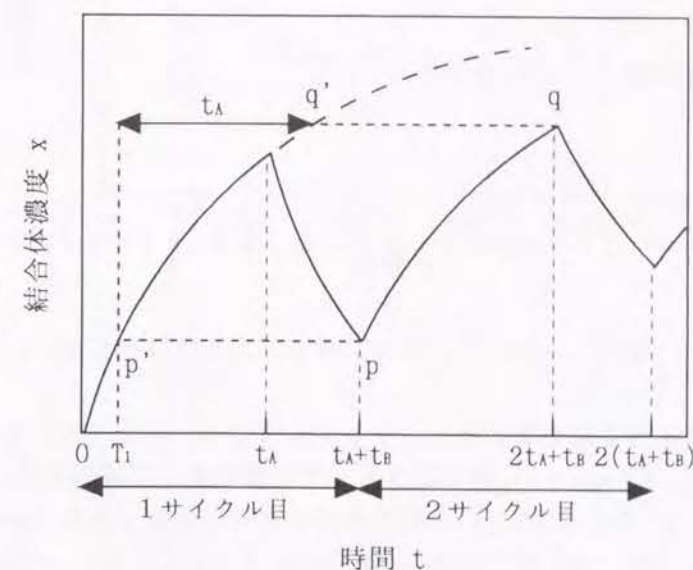
(吐出時にはにおいを感知しないことから、 dx/dt は算出しない。)

ただし、ここでは吐出空気中に存在するにおい分子の濃度は極めて低いものとし、脱離速度 $k_{-1} [SP] = k_{-1} x$ のみ生じるものとした。

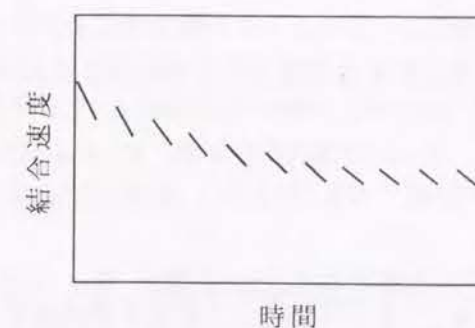
(A-5) 式および (A-7) 式に基づいた x の変化を示すと付図-1 のようになる。1 サイクル目では、 x は (A-5) 式に従って t_A まで増加し、 t_A から $(t_A + t_B)$ までは (A-7) 式に従って減少する。次に、2 サイクル目の吸入時については、付図-1 において、1 サイクル目の終了時の点 p から横軸に平行に引いた直線と 1 サイクル目の t_A までの x の変化を表す曲線との交点を p' としたとき、同じ曲線上で p' における時刻 T_1 から t_A 経過した後の点 q' までの x の変化が、そのまま 2 サイクル目の吸入時の x の変化を表すことになる。つまり、 p' から q' までの曲線をそのまま平行移動したものが p から q までの曲線になる。また、2 サイクル目の吐出時では、 q における x を初期値として指数関数的に減少することになる。なお、2 サイクル目以降の dx/dt も、吸入時の x の変化

率であるから、 x と t の関係式を微分することによって容易に求められる。

このようにして dx/dt の時間的推移を求めると、それぞれの呼吸サイクル内で小さな変化を繰り返しながら、付図-2 に示したように全体的には指数関数的に減少する。また、ここで特徴的なことは、 dx/dt は 0 には漸近せず、0 より大きいある一定値を保持し続けることであり、これは順応現象の特性と合致する。



付図-1 結合体濃度の時間的変化



付図-2 結合速度の時間的変化

付録-1で述べたように、吸入時間を t_A 、吐出時間を t_B とし、 $(t_A + t_B)$ を1サイクルの呼吸に要する時間とすると、においに曝露され始めてから1サイクル目の吸入時および吐出時の x および dx/dt の時間的变化は次式で与えられる。

〈吸入時〉

$$x = \frac{k_1 CN}{k_1 C + k_{-1}} [1 - \exp \{-(k_1 C + k_{-1}) t\}] \quad (A-5)$$

$$\frac{dx}{dt} = k_1 CN \exp \{-(k_1 C + k_{-1}) t\} \quad (A-6)$$

〈吐出時〉

$$x = \frac{k_1 CN}{k_1 C + k_{-1}} [1 - \exp \{-(k_1 C + k_{-1}) t_A\}] \exp \{-k_{-1} (t - t_A)\} \quad (A-7)$$

(吐出時にはにおいを感知しないことから、 dx/dt は算出しない。)

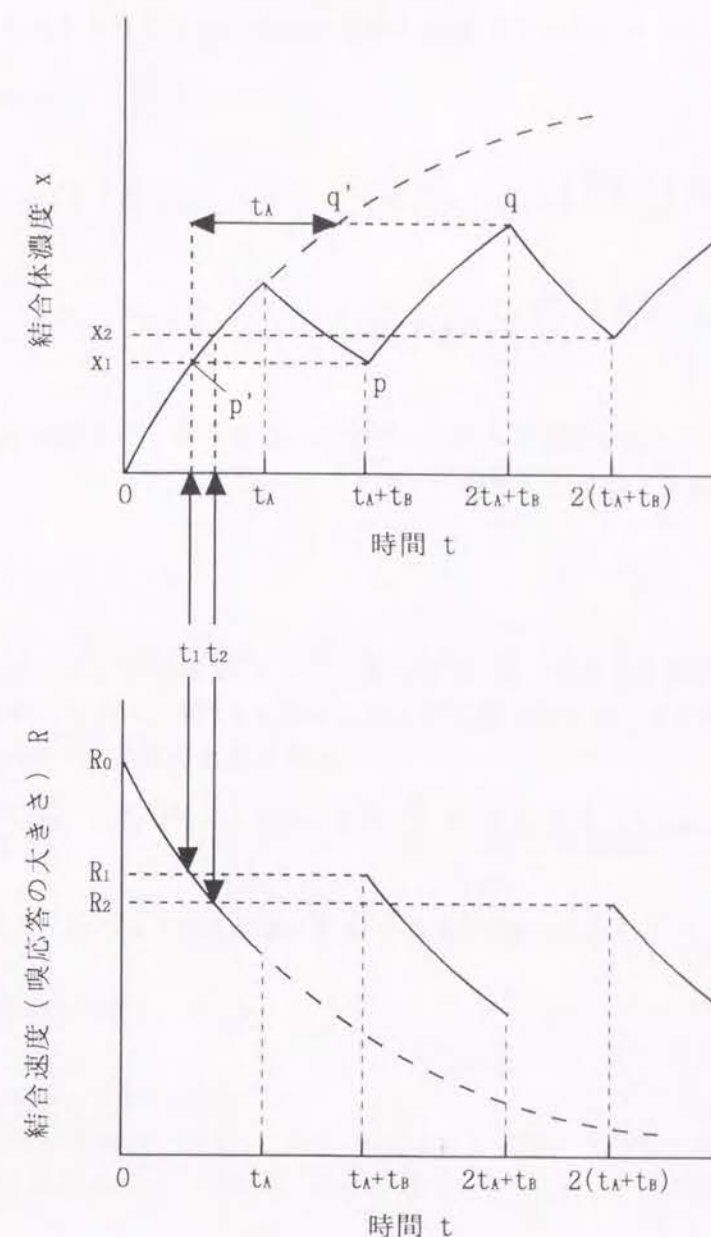
上式を付図-3によって説明すると、1サイクル目では、 x は(A-5)式に従って t_A まで増加し、 t_A から $(t_A + t_B)$ までは(A-7)式に従って減少する。また、2サイクル目の吸入時では、 p' から q' までの曲線をそのまま平行移動したものが p から q までの曲線になり、吐出時では、 q における x に $\exp[-k_{-1}\{t - (2t_A + t_B)\}]$ を乗じた形で指数関数的に減少する。

ここで、1サイクル目および2サイクル目の終了時における x をそれぞれ x_1 、 x_2 とし、同様に n サイクル目の終了時における x を x_n とする。また、1サイクル目および2サイクル目の終了時の点から横軸に平行に引いた直線と、1サイクル目の吸入時における x の変化を表す曲線との交点での t をそれぞれ t_1 、 t_2 とし、同様に n サイクル目の終了時の点から横軸に平行に引いた直線と、1サイクル目の吸入時における x の変化を表す曲線との交点での t を t_n とする。さらに、結合速度(嗅応答の大きさ) dx/dt を R として表し、1サイクル目の開始時($t = t_0 = 0$)における R を R_0 、2サイクル目および3サイクル目の開始時における R を R_1 、 R_2 とする。このとき、 R_1 および R_2 は、1サイクル目の吸入時における R の変化を表す曲線での t_1 および t_2 に対応する値となり、同様に $t = t_n$ に対応する R が R_n となる。

そこで、ここでは順応モデル曲線として、 $R_0, R_1, R_2, \dots, R_n, \dots$ を結ぶ曲線を考える。そのために、まず $t_0, t_1, t_2, \dots, t_n, \dots$ を表す式を導き、それを(A-6)式に代入して $R_0, R_1, R_2, \dots, R_n, \dots$ を求め、さらにこれらを $(t_A + t_B)$ ごとに結ぶことによって R の変化を表す曲線を作成する。

まず、(A-5)～(A-7)式の係数を簡略化する。すなわち、

$$\alpha = k_1 CN \quad (A-8)$$



付図-3 結合体濃度と結合速度(嗅応答の大きさ)の時間的变化

$$\beta = k_1 C + k_{-1} \quad (A-9)$$

$$\gamma = k_{-1} \quad (A-10)$$

とおくと、(A-5) ~ (A-7) 式は、それぞれ以下のように表される。

〈吸入時〉

$$x = \frac{\alpha}{\beta} \{1 - \exp(-\beta t)\} \quad (A-11)$$

$$\frac{dx}{dt} = \alpha \exp(-\beta t) \quad (A-12)$$

〈吐出時〉

$$x = \frac{\alpha}{\beta} \{1 - \exp(-\beta t_A)\} \exp\{-\gamma(t - t_A)\} \quad (A-13)$$

t_n の導出

まず、 $t_0 = 0$ である。次に、 t_1 を求める。 $t = t_1$ における(A-11)式での x と $t = (t_A + t_B)$ における(A-13)式での x はともに x_1 で等しいので、次式が成り立つ。

$$x_1 = \frac{\alpha}{\beta} \{1 - \exp(-\beta t_1)\} = \frac{\alpha}{\beta} \{1 - \exp(-\beta t_A)\} \exp(-\gamma t_B) \quad (A-14)$$

$$\therefore \exp(-\beta t_1) = 1 - \{1 - \exp(-\beta t_A)\} \exp(-\gamma t_B) \quad (A-14)$$

ここで、

$$K = \exp(-\beta t_A) \quad (A-15)$$

$$L = \exp(-\gamma t_B) \quad (A-16)$$

とおくと、(A-14) 式は以下ようになる。

$$\exp(-\beta t_1) = 1 - L(1 - K)$$

$$\therefore t_1 = -\frac{1}{\beta} \ln \{1 - L(1 - K)\}$$

同様に、 t_2 を求める。

$$x_2 = \frac{\alpha}{\beta} \{1 - \exp(-\beta t_2)\} = \frac{\alpha}{\beta} [1 - \exp\{-\beta(t_1 + t_A)\}] \exp(-\gamma t_B)$$

$$\therefore t_2 = -\frac{1}{\beta} \ln [1 - L \{1 - K \exp(-\beta t_1)\}]$$

さらに、 t_3 を求める。

$$x_3 = \frac{\alpha}{\beta} \{1 - \exp(-\beta t_3)\} = \frac{\alpha}{\beta} [1 - \exp\{-\beta(t_2 + t_A)\}] \exp(-\gamma t_B)$$

$$\therefore t_3 = -\frac{1}{\beta} \ln [1 - L \{1 - K \exp(-\beta t_2)\}]$$

以下、同様に t_n を求めることができる。そこで、これらを漸化式として表わすと、次式のようにになる。

$$\left. \begin{aligned} t_n &= 0 & (n=0) \\ t_n &= -\frac{1}{\beta} \ln [1 - L \{1 - K \exp(-\beta t_{n-1})\}] & (n>1) \end{aligned} \right\} (A-17)$$

また、 t_n は次式のように表すこともできる。

$$\left. \begin{aligned} \exp(-\beta t_n) &= 1 & (n=0) \\ \exp(-\beta t_n) &= 1 - L \{1 - K \exp(-\beta t_{n-1})\} & (n>1) \end{aligned} \right\} (A-18)$$

ここで、(A-18) 式を解く。

$$\begin{aligned} \exp(-\beta t_n) - \exp(-\beta t_{n-1}) &= [1 - L \{1 - K \exp(-\beta t_{n-1})\}] - [1 - L \{1 - K \exp(-\beta t_{n-2})\}] \\ &= KL \{\exp(-\beta t_{n-1}) - \exp(-\beta t_{n-2})\} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \exp(-\beta t_1) - \exp(-\beta t_0) &= \{1 - L(1 - K)\} - 1 \\ &= -L(1 - K) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \therefore \exp(-\beta t_2) - \exp(-\beta t_1) &= [1 - L \{1 - K \exp(-\beta t_1)\}] - \{1 - L(1 - K)\} \\ &= KL \{-L(1 - K)\} \end{aligned} \quad (A-19)$$

$$\begin{aligned} &\vdots \\ \therefore \exp(-\beta t_n) - \exp(-\beta t_{n-1}) &= (KL)^{n-1} \{-L(1 - K)\} \end{aligned}$$

ここで、(A-19)式の両辺をすべてたし合わせると、以下のようになる。

$$\begin{aligned} \exp(-\beta t_n) - \exp(-\beta t_0) &= \{1 + (KL) + (KL)^2 + \cdots + (KL)^{n-1}\} \{-L(1-K)\} \\ \therefore \exp(-\beta t_n) - 1 &= \frac{1 - (KL)^n}{1 - KL} \{-L(1-K)\} \\ \therefore \exp(-\beta t_n) &= 1 - L(1-K) \frac{1 - (KL)^n}{1 - KL} \end{aligned} \quad (A-20)$$

これを变形すると、次のように t_n を表す式が導かれる。

$$t_n = -\frac{1}{\beta} \ln \left\{ 1 - L(1-K) \frac{1 - (KL)^n}{1 - KL} \right\} \quad (A-21)$$

R_n の導出

R_n は、 $t = t_n$ における嗅応答の大きさ R であるので、(A-12)式から次のように表される。

$$R_n = \alpha \exp(-\beta t_n) \quad (A-22)$$

(A-22)式に(A-20)式を代入すると、次式が導かれる。

$$R_n = \alpha \left\{ 1 - L(1-K) \frac{1 - (KL)^n}{1 - KL} \right\} \quad (A-23)$$

(A-23)式を展開すると、以下のようになる。

$$\begin{aligned} R_n &= \alpha \left\{ 1 - L(1-K) \frac{1 - (KL)^n}{1 - KL} \right\} \\ &= \alpha - \alpha L(1-K) \frac{1 - (KL)^n}{1 - KL} \\ &= \alpha - \alpha L \frac{1-K}{1-KL} + \alpha L(1-K) \frac{(KL)^n}{1-KL} \\ &= \alpha \left\{ 1 - \frac{L(1-K)}{1-KL} \right\} + \alpha \frac{L(1-K)}{1-KL} (KL)^n \\ &= \alpha \frac{1-KL-L+KL}{1-KL} + \alpha \frac{L(1-K)}{1-KL} (KL)^n \\ &= \alpha \frac{1-L}{1-KL} + \alpha \frac{L(1-K)}{1-KL} (KL)^n \end{aligned} \quad (A-24)$$

$R(t)$ の導出

R_n は、 $t = n(t_A + t_B)$ における嗅応答の大きさであるから、(A-24)式に $n = t / (t_A + t_B)$ を代入すると、次式が得られる。

$$\begin{aligned} R(t) &= \alpha \frac{1-L}{1-KL} + \alpha \frac{L(1-K)}{1-KL} \{ (KL)^{1/(t_A+t_B)} \}^t \\ &= \alpha \frac{1-L}{1-KL} + \alpha \frac{L(1-K)}{1-KL} / \{ (KL)^{-1/(t_A+t_B)} \}^t \end{aligned} \quad (A-25)$$

知覚強度 $I(t)$ への変換

$I(t)$ が $R(t)$ に比例すると考えて比例係数を r とし、閾値に相当する嗅応答の大きさを R_{th} とすると、

$$I(t) = r(R(t) - R_{th}) \quad (A-26)$$

となる。ただし、 $R(t) < R_{th}$ の場合は、 $I(t) = 0$ である。したがって、大迫のモデルを簡略化した式は、以下のようになる。

$$I = \underbrace{\alpha r \frac{1-L}{1-KL}}_a - \underbrace{r R_{th}}_b + \underbrace{\alpha r \frac{L(1-K)}{1-KL}}_c / \{ (KL)^{-1/(t_A+t_B)} \}^t \quad (A-27)$$

$$\alpha = k_1 C N$$

$$K = \exp\{-(k_1 C + k_{-1}) t_A\} \quad (0 < K < 1)$$

$$L = \exp(-k_{-1} t_B) \quad (0 < L < 1)$$

これは結局、Ekmanによる経験式

$$I = a + b/c^t \quad (A-28)$$

と一致する。

付録-2で述べたように、大迫のモデルを簡略化した式は、以下のように表される。

$$I = \underbrace{\alpha r \frac{1-L}{1-KL}}_a - \underbrace{r R_{th}}_b + \underbrace{\alpha r \frac{L(1-K)}{1-KL}}_c \bigg/ \{ (KL)^{-1/(t_A+t_B)} \}^{\frac{1}{2}}$$

$$= a + b/c^{\frac{1}{2}} \quad (A-27)$$

$$\alpha = k_1 C N$$

$$K = \exp \{ - (k_1 C + k_{-1}) t_A \} \quad (0 < K < 1)$$

$$L = \exp (-k_{-1} t_B) \quad (0 < L < 1)$$

ここで、上式の各パラメータを増加させた場合、知覚強度 I は付表-18のように変化する。

付表-18 パラメータの増加による知覚強度 I の変化の傾向

パラメータ	C	k_1	k_{-1}	N	t_A	t_B
$a + b$ ($t = 0$ における I)	増加	増加	無変化	増加	無変化	無変化
a (順応完了後の I)	①	②	増加	増加	減少	増加
c (I の減衰する速さ)	増加	増加	増加	無変化	③ 増加	④ 減少

①について

a を C で微分すると、以下ようになる。

$$\begin{aligned} \frac{\partial a}{\partial C} &= \frac{\partial}{\partial C} \left(\alpha r \frac{1-L}{1-KL} - r R_{th} \right) \\ &= \frac{\partial}{\partial C} \left\{ k_1 C N r \frac{1-L}{1-L \exp(-k_1 t_A C - k_{-1} t_A)} - r R_{th} \right\} \\ &= r k_1 N (1-L) \frac{\{ 1 - L \exp(-k_1 t_A C - k_{-1} t_A) \} - C \{ (-L)(-k_1 t_A) \exp(-k_1 t_A C - k_{-1} t_A) \}}{\{ 1 - L \exp(-k_1 t_A C - k_{-1} t_A) \}^2} \\ &= r k_1 N (1-L) \frac{1 - (1 + k_1 t_A C) L \exp(-k_1 t_A C - k_{-1} t_A)}{\{ 1 - L \exp(-k_1 t_A C - k_{-1} t_A) \}^2} \quad (A-29) \end{aligned}$$

ここで、

$$r k_1 N (1-L) > 0$$

であるから、(A-29) 式が正となるためには、分数部分の分子が正でなければならない。したがって、

$$1 - (1 + k_1 t_A C) L \exp(-k_1 t_A C - k_{-1} t_A) > 0 \quad (A-30)$$

が成り立つ場合に a は増加する。

②について

①と同様に、

$$1 - (1 + k_1 t_A C) L \exp(-k_1 t_A C - k_{-1} t_A) > 0 \quad (A-30)$$

が成り立つ場合に a は増加する。

③について

c を t_A で微分すると、以下ようになる。

$$\begin{aligned} \frac{\partial c}{\partial t_A} &= \frac{\partial}{\partial t_A} \{ (KL)^{-1/(t_A+t_B)} \} \\ &= \frac{\partial}{\partial t_A} \left[\exp \left\{ - \frac{(k_1 C + k_{-1}) t_A + k_{-1} t_B}{t_A + t_B} \right\} \right] \\ &= \frac{(k_1 C + k_{-1})(t_A + t_B) - \{ (k_1 C + k_{-1}) t_A + k_{-1} t_B \}}{(t_A + t_B)^2} (KL)^{-1/(t_A+t_B)} \\ &= \frac{k_1 C t_B}{(t_A + t_B)^2} (KL)^{-1/(t_A+t_B)} \quad (A-31) \end{aligned}$$

これは常に正となる。したがって、 t_A を増加させると c は増加する。

④について

c を t_B で微分すると、以下ようになる。

$$\begin{aligned} \frac{\partial c}{\partial t_B} &= \frac{\partial}{\partial t_B} \{ (KL)^{-1/(t_A+t_B)} \} \\ &= \frac{\partial}{\partial t_B} \left[\exp \left\{ - \frac{(k_1 C + k_{-1}) t_A + k_{-1} t_B}{t_A + t_B} \right\} \right] \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&= \frac{k_{-1}(t_A + t_B) - \{(k_1 C + k_{-1})t_A + k_{-1}t_B\}}{(t_A + t_B)^2} (KL)^{-1/(t_A + t_B)} \\
&= \frac{-k_1 C t_A}{(t_A + t_B)^2} (KL)^{-1/(t_A + t_B)} \quad (A-32)
\end{aligned}$$

これは常に負となる。したがって、 t_B を増加させると c は減少する。

第6章 嗅感覚特性を考慮した悪臭の評価 ・規制方法の提案

第1節 概説

第4章では、物質濃度測定に基づく従来の悪臭規制方法の問題点を指摘するとともに、人間の嗅覚を用いた官能試験法の悪臭規制への導入の方向性を示し、さらに代表的な官能試験法である三点比較式臭袋法の問題点とその改善に関する考察を行った。また第5章では、第4章の検討内容を踏まえて、悪臭の感覚的評価・規制を行う際の重要因子の一つである嗅感覚の様々な時間特性に関する検討を行った。そこで本章では、第4章および第5章における知見をもとに、人間の嗅感覚特性に基づいた悪臭評価のための三点比較式臭袋法の改善案を示すとともに、官能試験法による悪臭規制を行う際の基本的考え方の提案を行った。

第2節 嗅感覚特性に基づく三点比較式臭袋法の改善

第4章第4節において三点比較式臭袋法に関する検討を行った結果、試料臭気の嗅ぎ方の不統一や結果導出の根拠の不明確さ、まぐれ当りの確率の大きさなど、多くの問題点が抽出された。そこで第5章では、これらの問題点の中で、特に臭気の判定に直接影響を及ぼす要因である臭気の吸入時間や吸入回数などの時間的因子に注目して実験的検討を行い、官能試験を行う際には、各パネルの吸入時間を一定にし、最初の吸入時において判断する必要があることを明らかにした。したがって、実際に官能試験を行う場合は、オペレータがこれらの留意点について各パネルに周知徹底させるとともに、パネル自身も臭気を吸入する際には集中し、複数回吸入する必要があるときは、十分に時間をおいて1回ずつ嗅ぐことが必要であると考えられる。

このように臭気の嗅ぎ方を統制することによって、さらに三点比較式臭袋法の様々な問題点を解決することが可能になる。すなわち、図6-1に示したように、吸入時間を一定にし、1回目の吸入で判断させるようにすると、各パネルの1回の判定に要する試料臭気量は1回の吸入量だけすむことになり、仮に1回の吸入だけでは判断できなかったとしても、2～3回の吸入に相当する量があれば各試料臭気の判定は可能である。したがって、現在用いられている3Lの臭袋は、各パネルの1回の判定における容量としては過剰であり、臭袋の低容量化が可能であると考えられる。この容量としては、一般的な成人が自然の呼吸状態で2～3回吸入するのに十分な量で、吸入操作が無理なく行われ、しかも試料の希釈・調製操作が簡便であるという点を考慮すると、1～1.5L程度が妥当であると考えられる。

このように臭袋を低容量化することの利点として、低希釈倍数における試料臭気

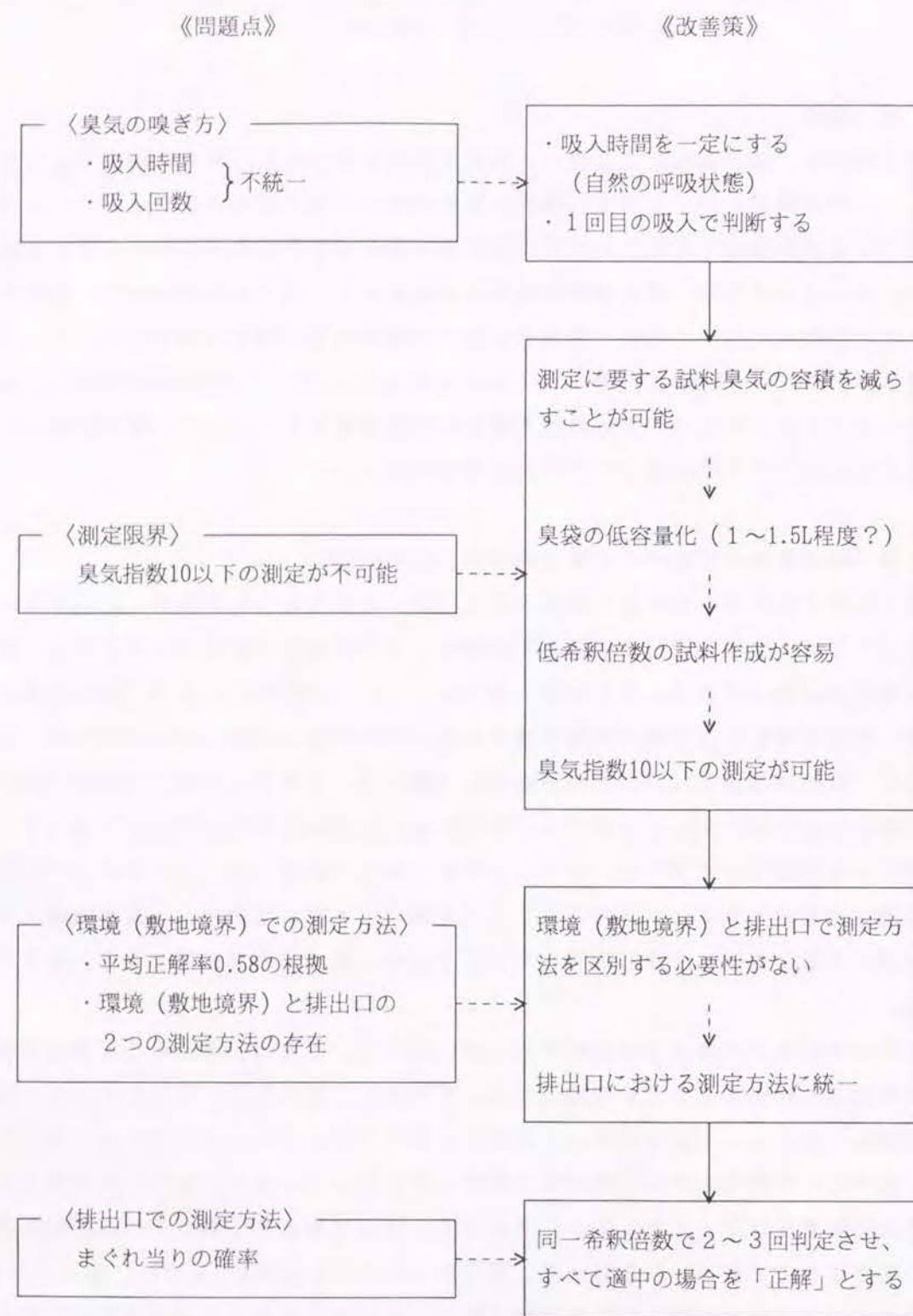


図6-1 三点比較式臭袋法の改善案

の作成が容易になるという点が挙げられる。すなわち、現在の三点比較式臭袋法では、低希釈倍数の試料臭気を作成する場合、大量の無臭空気を注射器で取り出してからまた大量の試料を注入しなければならず、希釈操作の困難さから臭気指数10以下の測定が不可能となっている。しかし、低容量の臭袋を用いることによって、10倍以下の希釈操作も比較的容易になり、3倍希釈あるいは2倍希釈程度まで可能となると、第4章第2節で述べたように、苦情の発生状況と対応した悪臭規制基準設定のための基礎データの収集ができるようになる。さらに近年、人々の快適環境に対する要望が高まり、悪臭苦情としては発現しなくても住民の意識レベルでは様々な臭気が感知されており^{1) 2)}、一般環境のバックグラウンド的においも空気の質を評価する指標の一つとして重要性が増しつつある³⁾。したがって、このような観点からも、低希釈段階における臭気指数の測定が有効であると考えられる。

臭袋の低容量化によって臭気指数10以下の測定が可能になると、現在の環境（敷地境界）における測定方法が不必要になり、結果導出の際の平均正解率0.58の妥当性および環境（敷地境界）と排出口の2種類の測定方法が存在することの不合理さの問題も解決されることになる。すなわち、現在の環境（敷地境界）における測定方法は、三点比較式臭袋法の測定限界である臭気指数10付近の臭気を測定するために、排出口における測定方法とは別に設けられているのであり、前述のように臭気指数10以下の低希釈段階での測定が可能になれば、これら2種類の測定方法を排出口における測定方法に統一することができる。

そして、排出口における測定方法に関しては、第4章第4節で示したように、同一希釈倍数で各パネルに2～3回繰り返して判定を行わせ、そのいずれにも適中した場合を「正解」とすることによって、まぐれ当りの確率を小さくすることができる。この際、オペレータの試料希釈・調製操作が煩雑になり、パネルの負担も大きくなる可能性があるが、一つの解決策としては、東大阪市⁴⁾が行っているように、パネル人数の50%が正解となる希釈倍数をもとに当該試料臭気の臭気指数を求める方法が考えられる。しかし、この場合にもパネルの人数と選定基準の妥当性に関する検討が不可欠である。

以上のように、吸入時間や吸入回数などの嗅感覚の時間特性に関する検討結果を反映させることによって、三点比較式臭袋法の様々な問題点の解決が可能になることが明らかになった。一方、臭気の吸入操作に対する統制の必要性が示されたことは、将来的に臭気の感覚的評価手法の装置化への移行を示唆していると考えられる。すなわち、官能試験に対する様々な影響因子が解明され、測定操作上の留意事項が明らかになるとともに、それらの条件に適合した状態での測定が必要となり、人間（オペレータおよびパネル）によって行われている現在の測定操作では対処不可能な点に関しては、装置導入の必要性が高まってくると考えられる。ここで、装置に

よる試料希釈や呈示操作などの誤差が現在のオペレータおよびパネルによる誤差を下回れば、結果的に測定精度が上がるということになり、悪臭の評価方法としての信頼性を増し、規制基準判定操作の向上へとつながる。また、現在の三点比較式臭袋法は、悪臭現場での連続測定が不可能であるという点に大きな問題があることから、簡便で迅速な測定を可能とする装置を開発することが悪臭の被害状況を的確に把握し、効果的な規制を行ううえで不可欠であり、今後の重要な検討課題であるといえる。

第3節 悪臭の官能規制に対する基本的考え方

第4章第2節では、全国の自治体で測定された悪臭現場での三点比較式臭袋法によるデータの解析を行い、従来の物質濃度測定による悪臭規制の問題点を明らかにするとともに、官能試験法による規制の有効性について述べた。しかし、悪臭の官能規制を実施するに際しては、人間の嗅覚特性を十分に把握し、それらを反映させた形で具体的規制手法や規制基準を考える必要がある。

悪臭事象は、人間の感覚的不快性に起因するものであり、住民がある臭気に対して不快と感じるかどうかが問題となる。したがって、基本的には対象となる臭気の不快性を把握し、住民の大多数がその臭気を不快と感じないレベルにおいて規制を行う必要がある。現在の悪臭防止法における規制基準設定の基本的方針においても、このように明言されている⁵⁾が、規制基準の具体的設定においては、従来の物質濃度規制および新たに導入されることになった臭気指数による官能規制ともに、一律に6段階臭気強度尺度の2.5から3.5の範囲に対応する物質濃度および臭気指数として定めることとされており、第4章第2節で述べたように、実際の苦情発生状況と対応しているとはいえない。また、規制基準を設定する際には、住民の臭気に対する不快性の判断において、臭気の組成、排出条件およびそれらの時間的変動などの様々な影響因子が存在することを考慮しなければならない。このように、住民からの苦情をなくすことが悪臭規制の最大の目的であることを勘案すると、規制基準の設定のためには、まず実際の苦情発生状況の把握を行い、さらに苦情発生に対する様々な影響因子に関して詳細な検討を行うことが不可欠であると考えられる。

以上の考え方に基づいて、苦情発生状況に対応した悪臭の官能規制の枠組みを模式的に示したのが図6-2である。すなわち、第4章第2節で述べたように、臭気指数は種々の臭気成分に対する人間の感覚的応答を全体としてとらえることができる指標であることから、臭気指数による感覚的評価の導入が悪臭規制において有効であると考えられる。そこで、臭気指数と苦情発生状況との対応関係を把握するために、苦情の発生する臭気指数レベルについて検討したところ、第4章第2節で述べたように、苦情の発生には臭気指数10以下の臭気が大きく影響すると考えられた

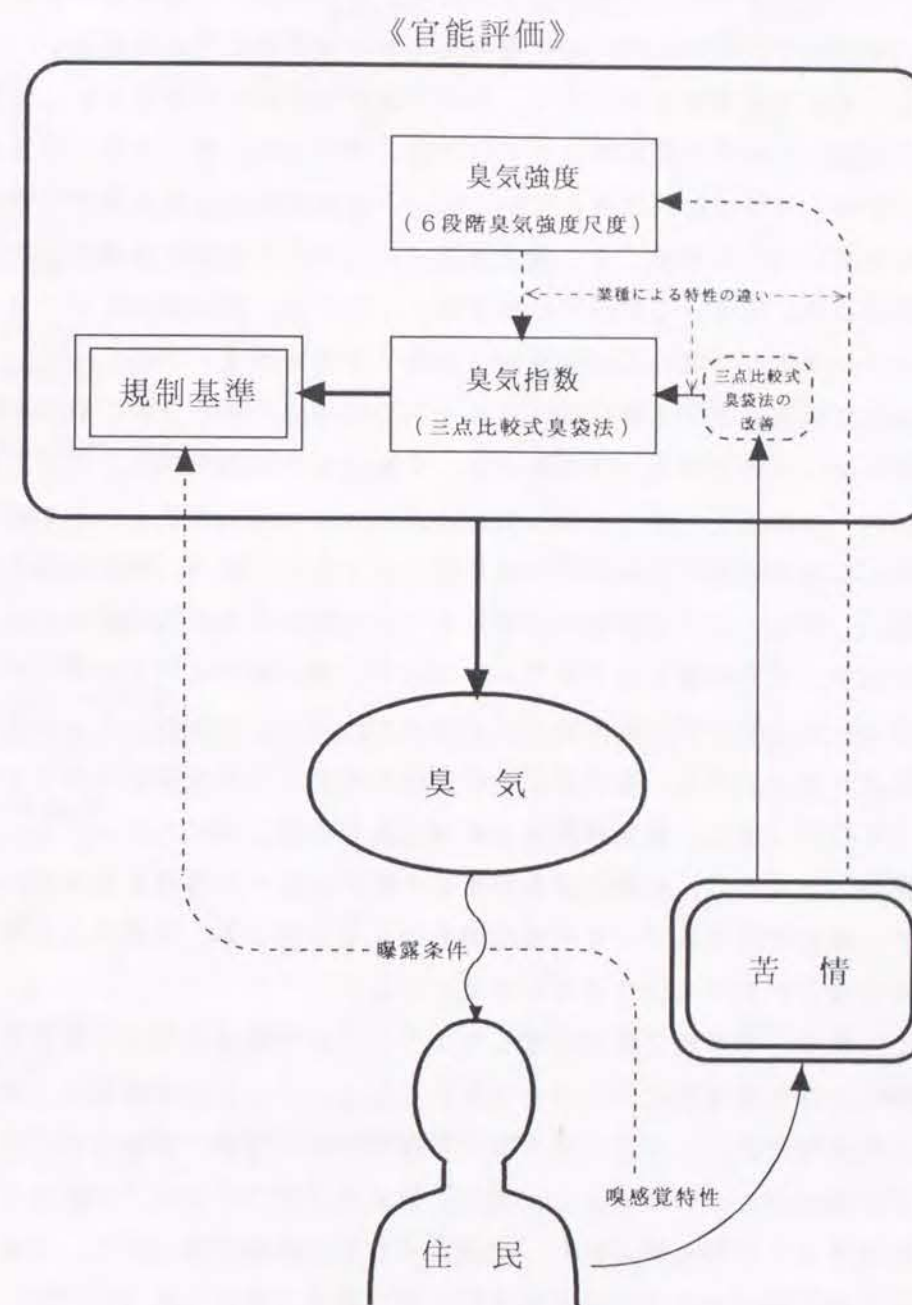


図6-2 苦情発生状況に対応した悪臭の官能規制

が、現在の三点比較式臭袋法では臭気指数10以下の測定が不可能であるために、両者の詳細な関係を把握するまでには至らなかった。しかし、この点に関しては、本章第2節で提案したように三点比較式臭袋法の改善を行い、低希釈段階における臭気指数データの収集を可能にすることによって、臭気指数と苦情発生の関係について検討し、規制基準設定のための資料を得ることができると考えられる。

以上のような状況を踏まえたうえで、ここでは既存のデータをもとに、苦情の発生する臭気指数レベルを推算することを試みた。すなわち、第4章第2節で検討したように、苦情「有り」と記入されていたデータの臭気強度集計結果から苦情の発生する臭気強度レベルを求め、その臭気強度に対応する臭気指数を両者の関係式から算出したところ、表6-1に示す結果を得た。ここで、臭気強度としては、苦情「有り」のデータの25%値および50%値に相当する値を図4-12から抽出し、臭気強度から臭気指数を算出する際には、表4-11の回帰式を用いた。これらの回帰式導出の基礎となったのが図4-9であるが、そもそも臭気指数10以下の測定値が存在しない状況で回帰式を外挿して臭気強度に対応する臭気指数を求めたために、表6-1に示した臭気指数は信頼区間が非常に大きくなり、結果の解釈は慎重に行う必要がある。しかし、ここで重要なのは表6-1の数値自体の信頼性ではなく、臭気指数を算出するまでの考え方である。すなわち、第5章でも若干検討したように、臭気の質によって強度と不快度の関係が異なるのは明らかであり、このような知覚特性を反映させるためには、各業種ごとに苦情の発生する臭気強度レベルを算出しなければならない。また、臭気強度から臭気指数を推算するにあたっては、第4章第2節で指摘したように、業種による回帰式の傾きの違いを考慮する必要がある。したがって、臭気指数に基づいて規制基準を設定する際にも、業種による特性の違いを反映させることが不可欠であると考えられる。

以上のことから、本章第2節で提案したように三点比較式臭袋法の改善を行い、低希釈段階における臭気指数データを収集することによって、苦情発生と臭気指数の直接的な関係を把握し、さらに第5章での検討内容を含め、変動臭気に対する知覚特性などを把握することによって、臭気に対する住民の不快性の判断における影響因子を解明することが必要であり、このような検討結果に基づいて、今後、より実態に即した悪臭規制を行う方向へと進むべきであると考えられる。

表6-1 苦情「有り」の場合の25%値、50%値に対応する臭気強度および臭気指数

業 種	苦情「有り」 25%値の 臭気強度	苦情「有り」 25%値の 臭気指数	苦情「有り」 50%値の 臭気強度	苦情「有り」 50%値の 臭気指数
1. 畜産農業				
(2)養牛業	1.5	6.8	2.0	14.2
2. 飼料・肥料製造工場				
(1)魚腸骨処理場	2.5	10.4	3.0	17.1
(2)獣骨処理場	2.0	8.7	2.5	13.1
3. 食料品製造工場				
(1)畜産食料品製造工場	1.0	7.3	1.5	9.6
(2)水産食料品製造工場	1.8	8.5	2.0	10.9
(3)発酵食料品製造工場	1.0	5.4	2.0	13.5
(5)でんぷん製造工場	1.5	1.0	1.5	1.0
(6)調理食料品製造工場	2.0	10.9	2.8	17.7
4. 化学工場				
(4)プラスチック工場	1.0	2.8	2.0	11.1
(8)石油化学工場	1.4	-	2.8	17.0
(14)アスファルト製造工場	1.2	4.6	2.0	12.3
(16)その他のパルプ・紙工場	1.0	10.4	1.5	11.8
5. その他の製造工場				
(1)繊維工場	1.0	5.9	2.0	14.6
(5)塗装工場	1.0	4.7	2.0	13.2
(11)鋳物工場	2.0	11.5	2.0	11.5
6. サービス業・その他				
(1)廃棄物最終処分場	3.0	20.9	3.0	20.9
(3)下水処理場	1.0	6.8	2.0	16.5
(14)クリーニング店・洗濯工場	1.0	5.6	2.5	17.2

第4節 結語

本章では、第4章および第5章における知見をもとに、人間の嗅感覚特性に基づいた悪臭評価のための三点比較式臭袋法の改善案を示すとともに、官能試験法による悪臭規制を行う際の基本的考え方の提案を行った。本章で得られた知見は、以下の通りである。

1) 三点比較式臭袋法においては、臭気の吸入時間や吸入回数などの嗅感覚の時間

第7章 結論

人間の感覚的応答としての不快性に起因する悪臭公害を評価するためには、原因となっている悪臭物質を追求するだけでなく、それが発生源からどのような経路でどのような変化をしながら住民に達するのか、さらに、到達した悪臭物質に対して住民がどのような反応を示すのかということを解明しなければならない。したがって、悪臭物質のみに注目した従来の規制方法は、「人はなぜ悪臭を感じるのか」、否、「人はなぜにおいを感じるのか」という極めて素朴な疑問に対する解答を見つけようとするとき、なんらのヒントも与えてくれないのである。

悪臭防止法の制定にあたった当時の厚生省は、最大の問題であった悪臭の測定方法について、人間の嗅覚を用いた官能試験法によらず機器分析法によることとした。しかし、人間の感覚としての不快性に基づく悪臭事象を機器分析のみでとらえようとするには限界があり、しばしば現場の被害状況との遊離が問題となってきたことから、官能試験法による悪臭評価方法の確立が緊急の課題となっていた。このような中で、環境庁は平成7年4月、悪臭防止法の改正に踏み切り、官能試験法の一つである三点比較式臭袋法による悪臭規制の導入を決定したが、依然として多くの問題点が存在しており、その解決が求められている。すなわち、今回の法律改正によって導入された官能試験法による規制基準の設定に際しての原則的な考え方は、従来の物質濃度規制に関するものと同様であり、苦情の発生状況を反映しているかどうかは疑わしく、また三点比較式臭袋法の測定方法自体も確立したものとはいえず、一層の改善が必要である。さらに、このような悪臭の評価・規制に関する検討を行う際には、臭気の種類と人間の感覚的応答との関係を把握することが不可欠であり、嗅覚に関する生理学的・精神物理学特性と臭気物質の物理化学的特性との対応に基づいて嗅覚の組織学的解明を行い、そこに環境条件を考慮することによって、嗅覚特性に基づいた環境臭気の評価が可能となる。

そこで本研究では、人間の嗅覚特性に基づいた悪臭評価・規制方法の確立のための基礎資料を得ることを目的として、従来の悪臭評価・規制方法の問題点の把握とその改善、悪臭の評価・規制を行う際の重要因子の一つである嗅覚の時間特性、および嗅覚特性を考慮した悪臭評価方法と悪臭規制に対する考え方に関する検討を行った。本研究で得られた知見は、以下の通りである。

第4章では、従来の悪臭評価・規制方法の問題点を把握し、悪臭苦情に対応した官能規制導入に向けての改善策を得るために種々の検討を行い、以下の知見を得た。

第4章第2節では、過去10年間にわたって各地方自治体で測定された悪臭現場で

特性に関する検討結果を反映させ、臭気の嗅ぎ方を統制することによって、臭袋の低容量化が可能となり、さらに低希釈段階における臭気指数の測定が容易になり、環境（敷地境界）と排出口の2種類の測定方法を排出口における測定方法に統一することができるなど、様々な問題点を解決することができる。

- 2) 住民からの苦情をなくすことが悪臭規制の最大の目的であることから、規制基準の設定のためには、まず実際の苦情発生状況の把握を行い、さらに苦情発生に対する様々な影響因子に関して詳細な検討を行うことが不可欠である。
- 3) 臭気指数は種々の臭気成分に対する人間の感覚的応答を全体としてとらえることができる指標であることから、臭気指数による感覚的評価の導入が悪臭規制において有効であり、臭気指数に基づいて規制基準を設定する際には、業種による特性の違いを反映させることが不可欠である。
- 4) 悪臭の実態に即した規制を行うためには、本章で提案したように三点比較式臭袋法の改善を行い、低希釈段階における臭気指数データを収集することによって、苦情発生と臭気指数の直接的な関係を把握し、さらに第5章での検討内容を含め、変動臭気に対する知覚特性などを把握することによって、臭気に対する住民の不快性の判断における影響因子を解明することが必要である。

以上のように、三点比較式臭袋法の改善によって、悪臭の感覚的評価方法の信頼性が向上するとともに、苦情の発生状況に対応したデータの収集が可能となること示された。今後、さらに悪臭現場における住民の臭気感知状況を詳細に把握することによって、官能規制がますますその効力を発揮するであろうと考えられる。

参考文献

- 1) 臭気対策研究協会：平成3年度環境庁委託業務結果報告書 悪臭防止対策検討調査（都市型臭気意識調査）（1992）
- 2) 環境庁長官官房総務課環境調査官：平成3年度環境モニター・アンケート「悪臭問題について」の調査結果（1992）
- 3) 岩崎好陽：一般環境臭気の評価方法の検討，P P M，25（3），36-40（1994）
- 4) 東大阪市悪臭規制技術検討会：官能試験法の導入に関する報告書（1987）
- 5) 環境庁大気保全局特殊公害課監修，悪臭法令研究会編著：ハンドブック悪臭防止法，292-297，ぎょうせい，東京（1993）

の三点比較式臭袋法によるデータの解析を行い、臭気指数、臭気強度、機器測定による物質濃度および悪臭苦情の有無などの各項目相互の関係について考察し、従来の物質濃度規制の問題点を把握するとともに、官能規制導入のための基礎資料を得ることを試みた。得られた知見は、以下の通りである。

- 1) 機器分析による濃度測定物質と測定件数を集計した結果、指定悪臭物質以外の未規制物質で濃度測定が行われたものは76物質にのぼり、現行の物質濃度規制のもとで指定悪臭物質を追加することには限界がある。
- 2) 閾希釈倍数最大物質の濃度と試料臭気の臭気強度の関係について回帰分析を行った結果、回帰が有意であったものは非常に少なく、業種や物質に系統的な傾向も認められなかったことから、単成分系での物質濃度と臭気強度の関係から算定された現行の規制基準値を、多成分の複合系として存在する実際の悪臭に対して適用することは困難であり、各指定悪臭物質の濃度規制では種々の業種から発生する悪臭を総合的に評価することはできない。
- 3) 閾希釈倍数最大物質の濃度と試料臭気の臭気指数の関係について回帰分析を行った結果、回帰が有意であったものは非常に少なく、物質濃度測定値と官能試験による臭気指数測定結果とは一義的には対応しない。この原因としては、様々な臭気成分の相互作用の影響が考えられるが、換言すれば、臭気指数は物質濃度とは異なり、種々の臭気成分に対する人間の感覚的応答を全体としてとらえることができる一つの指標であるといえる。
- 4) 臭気指数と臭気強度の関係について回帰分析を行った結果、回帰式の傾きが業種によって異なり、発生臭気の特徴を反映していると考えられることから、臭気指数による悪臭の評価・規制を行う際には、このような業種による特性の違いを考慮することが不可欠である。
- 5) 苦情「有り」と記入されていたデータの環境（敷地境界）における臭気強度の25%値、50%値（中央値）および75%値を算出した結果、25%値および50%値の大部分が臭気強度2.5以下であったことから、現在の悪臭防止法における規制基準設定に対する基本的考え方である臭気強度2.5から3.5という範囲は実際の苦情発生状況と対応しているとはいえず、再検討が必要である。また、同様に苦情「有り」と記入されていたデータの環境（敷地境界）における臭気指数の25%値、50%値および75%値を算出した結果、25%値ではほとんどが臭気指数10以下であったことから、苦情の発生には臭気指数10以下の臭気が大きく影響すると考えられ、測定方法の改善を含めて三点比較式臭袋法に関する検討が必要である。

第4章第3節では、環境モニター・アンケートによる調査データに基づいて、生活環境中の種々の臭気に対する住民の知覚特性や臭気の曝露条件などについて検討

し、悪臭の被害感と認容レベルに係わる影響因子を明らかにすることを試みた。すなわち、苦情の発現に大きく関与すると考えられる臭気の認容性に注目し、アンケートの調査項目のうち、「我慢できる程度」が臭気の認容性を表すものと考え、これを目的変数、他のいくつかの調査項目を説明変数として数量化Ⅱ類による解析を行い、臭気の認容性に関与する因子の把握を行った。得られた知見は、以下の通りである。

- 1) 臭気の認容性（「我慢できる程度」）には、「気になる程度」に続いて「気になる頻度」や「継続時間」といった臭気の時間的曝露条件が大きく影響しており、「においを無くす希望」は全般的に寄与が小さい。
- 2) 都市・生活型の臭気発生源については、「気になる程度」が臭気の認容性に大きく影響している。
- 3) 現在の悪臭防止法では、臭気の時間的曝露条件がほとんど考慮されていないことから、「気になる頻度」や「継続時間」をはじめ、時間的影響因子を考慮したうえで悪臭の評価・規制を行う必要がある。

第4章第4節では、悪臭の感覚的評価方法として各自治体において広く採用されている三点比較式臭袋法の問題点を抽出するとともに、その改善に関する若干の考察を行った。得られた知見は、以下の通りである。

- 1) 現在のパネル人数の決定およびパネル選定方法は、根拠が曖昧であり、妥当性には疑問がある。
- 2) 試料臭気の希釈・調製操作の安定性を確保するために、オペレータの資質を向上させるとともに、希釈操作の装置化を含めて使用器具の改良や測定手順の改善などを行う必要がある。
- 3) 試料臭気の嗅ぎ方は、臭気の判定に直接影響を及ぼす要因であり、特に臭気の吸入時間や吸入回数などの時間的因子を中心とした吸入条件について把握することが不可欠である。
- 4) 環境（敷地境界）における測定方法の平均正解率の判断基準となっている0.58という数値には、理論的根拠がない。
- 5) 排出口における測定では、同一希釈倍数で各パネルに2～3回繰り返して判定を行わせ、そのいずれにも適中した場合を「正解」とする方法が、測定結果の信頼性の点から適切であり、測定方法自体に起因する誤差を極力減少させるという点で有効な改善策である。
- 6) 同じ臭気を測定するにもかかわらず、環境（敷地境界）と排出口で異なる測定方法を用いることは極めて不合理であり、測定データを一律に扱うことができるようにし、苦情の発生と臭気指数の対応関係を把握するためにも、臭気指数10以

下の測定を可能にするように手法の改善を行い、両方法を統一させることが不可欠である。

第5章では、悪臭の感覚的評価・規制における重要因子の一つである嗅感覚の時間特性について種々の検討を行い、以下の知見を得た。

第5章第4節では、嗅感覚の時間特性の基本的要素の一つである臭気の吸入時間に注目し、吸入時間を変化させたときのにおい物質と刺激性物質の“におい”および“刺激”の感覚の知覚強度を臭袋を用いて測定し、各物質の知覚特性と、三点比較式臭袋法をはじめ、臭袋を用いて官能試験を行う際の留意点について考察した。得られた知見は、以下の通りである。

- 1) “におい”の知覚強度は、低濃度では吸入時間とともに増大し、高濃度では逆に減少する傾向を示したが、“刺激”の知覚強度は吸入時間とともに増大したことから、嗅覚性の“におい”と非嗅覚性の“刺激”との間には特性の違いが存在する。
- 2) “刺激”の感覚の発現においては、吸入時間と物質濃度の積としての全体の物質量が重要な因子となっている。
- 3) 吸入時間の違いによって臭気の質や知覚強度が変化する可能性があることから、三点比較式臭袋法をはじめ、臭袋を用いた官能試験を行う際には、できるだけ各被験者の吸入時間を一定にする必要がある。

第5章第5節では、臭気の曝露初期における知覚特性を把握するために、4秒サイクルで呼吸を行わせたときの初期30秒間での知覚強度の変化を測定し、その特性について検討するとともに、官能試験における被験者の判定に及ぼす呼吸回数の影響についても考察した。得られた知見は、以下の通りである。

- 1) 知覚強度の経時変化の傾向には、①減衰し続けるもの、②ほぼ等強度を保った後に減衰し続けるもの、③一旦強度が増加した後に減衰し続けるもの、の3種類がある。
- 2) 1呼吸目に対して2呼吸目の知覚強度が増大する場合と減少する場合があることから、官能試験において知覚強度や閾値などを測定する場合には、最初の呼吸時に判断することが必要である。

第5章第6節では、におい物質と刺激性物質を連続的に曝露したときの、“におい”および“刺激”の知覚強度を測定し、その時間特性について検討した。得られた知見は、以下の通りである。

- 1) “におい”の知覚強度は時間の経過とともに低下したが、“刺激”の知覚強度は、時間の経過とともに上昇し、しかも変動する傾向を示したことから、“におい”と“刺激”の知覚特性の違いが存在する。
- 2) 連続的に臭気に曝露される環境においては、時間の経過とともに知覚強度が増大するという刺激性の感覚特性に十分留意したうえで臭気の評価を行う必要がある。

第5章第7節では、順応現象における種々の物質の知覚特性を把握するために、様々なにおい質を有する物質を連続的に曝露したときの順応および回復過程における知覚強度の変化を測定し、物質による順応特性の違いについて考察した。得られた知見は、以下の通りである。

- 1) 高濃度の方が低濃度よりも順応完了後の定常的な知覚強度が大きく、順応過程における知覚強度の減少および回復過程における知覚強度の増加が緩やかである。また、順応過程の方が回復過程よりも知覚強度の変化が速やかである。
- 2) におい質による違いについてみると、曝露開始時の知覚強度は同じであっても、汗臭を呈するn-酪酸では順応完了後の知覚強度が最も小さく、果実臭を呈するエステル類では、順応過程における知覚強度の減衰の速さが相対的に遅く、また回復も遅い。

第5章第8節では、順応現象に関する様々なモデル式のうち、特に経験的モデル式であるEkmanの式と生理学的モデル式である大迫の式に注目し、大迫の式を簡略化することによって、感覚的応答特性を物理化学的・生理学的側面から説明することを試みた。得られた知見は、以下の通りである。

- 1) 大迫のモデル式を簡略化することによって、経験式であるEkmanの式と同型の式が導かれ、Ekmanの式を物理化学的・生理学的特性および呼吸サイクルの取り方によって説明することができた。
- 2) パラメータの増減による知覚強度の減衰の速さの変化の傾向について考察した結果、一部、実験結果と合致しない点も見いだされたが、これについては高次の中樞神経系や心理的影響などの関与が考えられる。

第5章第9節では、におい質および知覚強度と快・不快度の推移との関係を把握するために、臭気物質を連続的に曝露したときの快・不快度の変化について検討するとともに、その影響因子についても考察した。得られた知見は、以下の通りである。

- 1) 低濃度レベルでは、物質固有のにおい質に対する判断が大きく影響し、知覚強

度の変化に伴って快・不快度も推移するが、高濃度レベルでは、におい質のみならず、鼻・喉への刺激など身体各部位への影響が快・不快度の判断を左右する。

2) 連続的に臭気に曝露される状況においては、物質固有のにおい質にかかわらず、身体への影響を重要な因子として考慮し、臭気の評価を行う必要がある。

第6章では、第4章および第5章における知見をもとに、人間の嗅感覚特性に基づいた悪臭評価のための三点比較式臭袋法の改善案を示すとともに、官能試験法による悪臭規制を行う際の基本的考え方の提案を行った。本章で得られた知見は、以下の通りである。

- 1) 三点比較式臭袋法においては、臭気の吸入時間や吸入回数などの嗅感覚の時間特性に関する検討結果を反映させ、臭気の嗅ぎ方を統制することによって、臭袋の低容量化が可能となり、さらに低希釈段階における臭気指数の測定が容易になり、環境（敷地境界）と排出口の2種類の測定方法を排出口における測定方法に統一することができるなど、様々な問題点を解決することができる。
- 2) 住民からの苦情をなくすことが悪臭規制の最大の目的であることから、規制基準の設定のためには、まず実際の苦情発生状況の把握を行い、さらに苦情発生に対する様々な影響因子に関して詳細な検討を行うことが不可欠である。
- 3) 臭気指数は種々の臭気成分に対する人間の感覚的応答を全体としてとらえることができる指標であることから、臭気指数による感覚的評価の導入が悪臭規制において有効であり、臭気指数に基づいて規制基準を設定する際には、業種による特性の違いを反映させることが不可欠である。
- 4) 悪臭の実態に即した規制を行うためには、本章で提案したように三点比較式臭袋法の改善を行い、低希釈段階における臭気指数データを収集することによって、苦情発生と臭気指数の直接的な関係を把握し、さらに第5章での検討内容を含め、変動臭気に対する知覚特性などを把握することによって、臭気に対する住民の不快性の判断における影響因子を解明することが必要である。

以上のように、従来の悪臭評価・規制方法の様々な問題点が明らかになり、嗅感覚の時間特性に関する検討結果に基づいて、三点比較式臭袋法の改善案を提案し、官能規制を導入する際の基本的考え方の方向性を示すことができた。

本研究では、嗅感覚の時間特性の中でも、比較的短時間の連続的曝露についての検討にとどまったが、今後は臭気の時間的変動に対する感覚的応答特性について検討するとともに、悪臭現場における住民の臭気感知状況を把握することによって、一層被害状況と対応した悪臭の評価・規制が可能になるものと考えられる。しかし、

いかなる場合においても、そこに人間が存在するということを決して忘れてはならない。

本研究の遂行および論文作成において、終始一貫して御指導賜りました京都大学工学部附属環境質制御研究センター教授 松井三郎博士に対し、心から感謝致します。また、論文の取りまとめにあたり、数々の御教示と御助言を賜りました京都大学大学院工学研究科環境地球工学専攻教授 内藤正明博士ならびに京都大学工学部附属環境質制御研究センター教授 森澤眞輔博士に深く感謝致します。

元京都大学助教授 西田耕之助博士には、研究室配属以来、多大なる御指導と御支援を賜りました。厚く御礼申し上げます。また、京都大学工学部附属環境質制御研究センター講師 清水芳久博士には貴重な御助言を頂き、同助手 山田春美博士には常に温かい御支援と御激励を頂きました。心から感謝致します。さらに、数々の御助言を頂きました同助手 松田知成博士に深く感謝致します。

国立公衆衛生院廃棄物工学部 大迫政浩博士には、多大なる御指導と御助言を頂き、日本学術振興会特別研究員 樋口能士博士には、多くの御協力を頂きました。心から御礼申し上げます。また、本研究の遂行において特に御尽力頂きました京都大学大学院工学研究科環境地球工学専攻修士課程 北川雅之氏には、深く感謝致します。さらに、多くの御協力を頂きました土橋隆二郎氏（現 カリフォルニア大学デービス校大学院博士課程）、武内伸勝氏（現 ダイキン工業）、京都大学大学院工学研究科環境地球工学専攻修士課程 遠藤淳氏、山元由里子様、笹本賢子様をはじめ、研究室の皆様には厚く御礼申し上げます。

最後に、9年間にわたる学生生活を通じて、常に激励し、支援してくれた両親に心から感謝します。